



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ADAPTAÇÃO DE TÉCNICA EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO
DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS COM POTENCIAL
PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

Angélica Bertoti

Lajeado, novembro de 2018

Angélica Bertoti

**ADAPTAÇÃO DE TÉCNICA EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO
DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS COM POTENCIAL
PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, novembro de 2018

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma técnica experimental para determinar a condutividade térmica de materiais com potencial de isolamento térmico. A técnica consiste na produção de um fluxo de calor através de uma chapa indutora de calor e uma placa fria. Para a obtenção dos dados foram utilizados sensores de temperatura em dois momentos, um imediatamente posterior à placa fornecedora de calor e anterior ao material amostral, e outro sensor após o material analisado. Os testes foram realizados em ambiente com temperatura controlada artificialmente por sistema de condicionamento de ar no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. Para validação da técnica, foram submetidos aos testes placas de poliestireno expandido com 2 cm de espessura, sob diferentes faixas de temperatura. A técnica se mostrou válida quando a amostra foi submetida a uma faixa de temperatura média de 60°C, apresentando uma condutividade térmica de 0,044W/m.k. Analisou-se, também, a condutividade térmica do sabugo de milho, palha de soja, casca de pinus, placa de reboco com esferas de EPS, placa de SlimStone e placa de vácuo com elemento acrílico, as quais apresentaram condutividade térmica de 0,052, 0,058, 0,061, 0,067, 0,063 e 0,102W/m.k respectivamente. A partir dos dados obtidos, conclui-se que a técnica experimental é confiável quando as amostras são submetidas a uma temperatura média próxima a 60°C, também é importante destacar sobre a condutividade térmica que os materiais apresentaram, classificando-os como isolantes térmicos.

Palavras-Chave: Condutividade térmica. Isolamento térmico. Propriedades termofísicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Condutividade térmica e densidade de alguns materiais	14
Figura 2 – Esquema do mecanismo da placa quente protegida.....	14
Figura 3 – Formas de aplicação do método fluximétrico	17
Figura 4 – Esquema do método do fio quente.....	17
Figura 5 – Esquema experimental do calorímetro a água	18
Figura 6 – Esquema do disco quente.....	19
Figura 7 – Esquema do equipamento do tubo quente.....	20
Figura 8 – Esquema do método da caixa quente	21
Figura 9 – Molde de ensaio	21
Figura 10 – Molde fixado sem preenchimento.....	22
Figura 11 – Poliestireno Expandido (EPS)	25
Figura 12 – Poliestireno Extrudido (XPS).....	26
Figura 13 – Poliuretano	26
Figura 14 – Painéis de lã de rocha.....	27
Figura 15 – Lã de vidro em rolo.....	28
Figura 16 – Argila expandida.....	28
Figura 17 – Lã de ovelha em rolo.....	29
Figura 18 – Painel de penas de pato.....	29
Figura 19 – Painel de junco aplicado em alvenaria	30
Figura 20 – Painel de cortiça.....	30
Figura 21 – Utilização da palha como isolamento térmico	31

Figura 22 – Mapa bioclimática brasileiro	34
Figura 23 – Carta bioclimática para a cidade de Lajeado - RS	35
Figura 24 – Fluxograma da metodologia.....	38
Figura 25 – Disposição da palha de soja na forma	39
Figura 26 – Placa de palha de soja	39
Figura 27 – Placa de casca de pinus	40
Figura 28 – Placa de sabugo de milho	41
Figura 29 – Formas com desmoldante.....	41
Figura 30 – Argamassa pronta	42
Figura 31 – Argamassa nas formas	42
Figura 32 – Frente da placa de reboco com esferas de EPS	43
Figura 33 – Verso da placa de reboco com esferas de EPS.....	43
Figura 34 – Composição do SlimStone	44
Figura 35 – Placa de SlimStone	44
Figura 36 – Placa com elemento acrílico com vácuo	45
Figura 37 – Montagem do experimento por Simioni.....	46
Figura 38 – Esquema de montagem do aparato	46
Figura 39 – Aparato.....	47
Figura 40 – Placa de EPS	47
Figura 41 – Placa de alumínio.....	48
Figura 42 – Sensor de temperatura.....	48
Figura 43 – Chapa aquecedora.....	49
Figura 44 – Caixa isolante.....	50
Figura 45 – Fundo da caixa isolante	50
Figura 46 – Furos para instalação dos sensores de temperatura	51
Figura 47 – Sensores instalados	51
Figura 48 – Localização do campus da Univates em Lajeado – RS	52
Figura 49 – FieldLogger Novus	53
Figura 50 – Conversor.....	54
Figura 51 – Disposição da placa de sabugo de milho sobre a chapa aquecedora....	54
Figura 52 – Disposição da placa de <i>slimstone</i>	55
Figura 53 – Disposição da placa de reboco com esferas de EPS.....	55
Figura 54 – Disposição da placa com elemento acrílico com vácuo	56
Figura 55 – Palha de soja compactada dentro da proveta	57

Figura 56 – Proveta preenchida com água e sabugo de milho	57
Figura 57 – Proveta preenchida com água e casca de pinus.....	58
Figura 58 – Bomba a vácuo	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de EPS	62
Gráfico 2 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de EPS.	62
Gráfico 3 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de sabugo de milho.	64
Gráfico 4 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de sabugo de milho.	64
Gráfico 5 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de sabugo de milho.	65
Gráfico 6 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de palha de soja.	66
Gráfico 7 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de palha de soja.	66
Gráfico 8 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de palha de soja.	67
Gráfico 9 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de casca de pinus.	68
Gráfico 10 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de casca de pinus.....	69
Gráfico 11 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de casca de pinus.....	69
Gráfico 12 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de SlimStone.	71
Gráfico 13 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de SlimStone.	71
Gráfico 14 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de SlimStone.	72

Gráfico 15 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de reboco com esferas de EPS.....	73
Gráfico 16 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de reboco com esferas de EPS.....	74
Gráfico 17 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de reboco com esferas de EPS.....	74
Gráfico 18 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.	75
Gráfico 19 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.	76
Gráfico 20 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.	76
Gráfico 21 – Comparativo entre as condutividades térmicas dos materiais.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações dos materiais citados anteriormente	31
Quadro 2 – Resultado do ensaio para as amostras do material de referência.....	63
Quadro 3 – Resultado do ensaio para as amostras de sabugo de milho	65
Quadro 4 – Resultado do ensaio para as amostras de palha de soja	67
Quadro 5 – Resultado do ensaio para as amostras de casca de pinus	70
Quadro 6 – Resultado do ensaio para as amostras de SlimStone	72
Quadro 7 – Resultado do ensaio para as amostras reboco com esferas de EPS.....	75
Quadro 8 – Resultado do ensaio para as placas de vácuo com elemento de acrílico	77
Quadro 9 – Resultado do ensaio de densidade	78
Quadro 10 – Relação entre a densidade dos materiais e a condutividade térmica...	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Tema	11
1.2 Objetivo geral	11
1.3 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificativa	12
1.5 Estrutura do trabalho	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Condutividade térmica.....	13
2.1.1 Técnicas para medição da condutividade térmica.....	14
2.1.1.1 Placa quente protegida.....	14
2.1.1.2 Fluximétrico	16
2.1.1.3 Linha quente ou Fio quente.....	17
2.1.1.4 Calorímetro a água.....	18
2.1.1.5 Disco quente	18
2.1.1.6 Tubo quente	19
2.1.1.7 Caixa quente	20
2.1.1.8 Técnica experimental	21
2.2 Materiais de isolamento térmico.....	23
2.2.1 Importância do isolamento térmico nas edificações	23
2.2.2 Tipos de materiais isolantes	24
2.2.2.1 Materiais isolantes de origem sintética.....	24
2.2.2.2 Materiais isolantes de origem mineral	27
2.2.2.3 Materiais isolantes de origem animal	29
2.2.2.4 Materiais isolantes de origem vegetal	30
2.2.3 Conforto térmico	32
2.3 Bioclimatologia	34
2.3.1 Carta bioclimática da cidade de Lajeado – RS.....	35

3 METODOLOGIA	37
3.1 Confeção das placas	38
3.1.1 Placas de palha de soja	38
3.1.2 Placas de casca de pinus	40
3.1.3 Placas de sabugo de milho	40
3.1.4 Placas de reboco com esferas de EPS	41
3.2 Montagem do aparato	45
3.2.1 Equipamentos utilizados na montagem do aparato	47
3.2.1.1 Material isolante	47
3.2.1.2 Placa fria	48
3.2.1.3 Sensor de temperatura	48
3.2.1.4 Chapa aquecedora	49
3.2.1.5 Caixa isolante	49
3.3 Coleta de dados	52
3.3.1 Condições de temperatura do laboratório	52
3.3.2 Equipamentos utilizados na coleta de dados	53
3.3.2.1 Datallogger	53
3.3.2.2 Conversor	53
3.3.2.3 <i>Software</i>	54
3.3.3 Disposição das placas sob a chapa quente	54
3.4 Ensaio de densidade	56
3.4.1 Densidade aparente	56
3.4.2 Densidade real	57
3.4.3 Densidade da placa de reboco com esferas de EPS	59
3.5 Análise dos dados	59
3.5.1 Cálculo fluxo de calor	59
3.5.2 Espessura da amostra	60
3.5.3 Diferença de temperatura entre as faces da amostra	60
3.5.4 Cálculo da condutividade térmica	60
3.6 Validação da técnica experimental	60
 4 RESULTADOS	 61
4.1 Dados de condutividade térmica	61
4.1.1 Amostras de referência	61

4.1.2 Amostras de sabugo de milho	63
4.1.3 Amostras de palha de soja	66
4.1.4 Amostras de casca de pinus	68
4.1.5 Amostras de SlimStone	70
4.1.6 Amostras de reboco com esferas de EPS.....	73
4.1.7 Amostras de vácuo com elemento acrílico	75
4.2 Dados do ensaio de densidade	78
5 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais é indispensável para definir sua melhor aplicação. No que se refere aos materiais da construção civil, um conhecimento aprofundado das suas propriedades termofísicas é de fundamental importância para a realização de estudos sobre o desempenho termo-energético das edificações (SIMIONI, 2005). Por exemplo, o uso de materiais que apresentam condutividade térmica baixa em construções, contribui para atenuar as variações de temperatura entre o interior e o exterior das edificações, promovendo dessa forma uma diminuição no consumo de energia elétrica. De acordo com Baltar, Kaehler e Pereira (2005), as edificações são responsáveis por consumir 42% de toda a energia elétrica produzida no Brasil, sendo o sistema de condicionamento de ar o maior contribuinte para essa taxa de consumo elevada.

Uma das propriedades termofísicas mais importantes, deste modo, é a condutividade térmica. A condutividade térmica é a propriedade dos materiais que representa a capacidade dos mesmos de transmitir calor. Materiais que apresentam um índice de condutividade térmica alta, são bons condutores de calor, diferentemente dos materiais ditos isolantes térmicos, que apresentam um coeficiente de condutividade térmica baixo.

No Brasil, entretanto, a cultura de investigação das propriedades termofísicas dos materiais de construção civil é pouco difundida, somente alguns laboratórios nacionais dispõem de equipamentos para realizar ensaios desse tipo. Para se ter uma ideia, quando se trata de ensaios para determinar a condutividade térmica,

somente o Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) possuem equipamento de placa quente protegida (SIMIONI, 2005).

Diante do cenário apresentado, a proposta deste estudo científico visa analisar e desenvolver uma técnica para determinar a condutividade térmica de materiais com potencial utilização em isolamento térmico.

1.1 Tema

O tema abordado neste estudo propõe a desenvolver uma técnica experimental que tem o intuito de determinar a condutividade térmica de materiais novos com potencial utilização para isolamento térmico.

1.2 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma técnica experimental para determinação da condutividade térmica de materiais, que possam ser utilizados como elementos de isolamento térmico.

1.3 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do presente trabalho temos:

1 – Desenvolver método alternativo para a determinação da condutividade térmica de novos materiais;

2 – Determinar a condutividade térmica de placas de casca de pinus, palha de soja, sabugo de milho, placas de reboco com esferas de EPS, placas com elemento de acrílico com vácuo e placas de *slimstone*;

3 – Determinar a densidade dos materiais analisados para o estudo.

1.4 Justificativa

Uma das propriedades termofísicas mais importantes é a condutividade térmica, uma vez que, a partir dela pode-se determinar outros parâmetros, tais como condutância, transmitância e resistência térmica. Apesar disso, no Brasil, as propriedades termofísicas dos materiais ainda são pouco exploradas. Em todo o país existem, somente, dois laboratórios que possuem equipamento de placa quente, utilizado na determinação da condutividade térmica. De acordo com Moura (1993), os métodos existentes utilizados para determinar este parâmetro são difíceis de serem realizados ou demandam um longo período de tempo em ensaios.

1.5 Estrutura do trabalho

Esta pesquisa foi dividida em quatro capítulos. O primeiro capítulo introduz a monografia e apresenta o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa e relevância da pesquisa, bem como uma breve descrição dos capítulos que compõem o trabalho.

O capítulo dois compreende a revisão bibliográfica, a qual aborda o conceito de condutividade térmica e os métodos existentes para determiná-la. Além disso, são apresentados materiais utilizados em isolamento térmico, a importância do isolamento térmico nas edificações, conceito sobre conforto térmico e bioclimatologia.

No capítulo três é descrita a metodologia, os materiais e os processos que serão adotados para a montagem do experimento de ensaio e a forma como a condutividade térmica será determinada.

O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos acerca da condutividade térmica e densidade dos materiais de estudo bem como uma análise dos dados encontrados.

O quinto capítulo apresenta as considerações finais a respeito desse estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Condutividade térmica

Com o objetivo de regulamentar o desempenho térmico dos materiais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu a norma de desempenho NBR 15220, a qual estabelece os índices que devem ser levados em consideração para o cálculo do desempenho térmico das edificações (SPINELLI; CAMBEIRO; KONRAD, 2018). De acordo com os autores, o índice mais importante para o cálculo é a condutividade térmica (λ), pois a partir dela pode-se calcular a resistência térmica (R), a transmitância térmica (U), a densidade de fluxo de calor (q) e o fluxo de calor (Q).

De forma mais abrangente é possível dizer que a condutividade térmica mensura a capacidade de transferência de calor dos materiais (AQUINO, 2014). A NBR 15220 – 1 (ABNT, 2005, p. 2) define condutividade térmica como “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.”

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) salientam que a condutividade térmica depende da densidade do material analisado. Quanto menor a densidade do material, menor é a sua condutividade térmica, conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Condutividade térmica e densidade de alguns materiais

MATERIAL	λ (W/m K)
Concreto normal, densidade de 2.200 a 2.400 kg/m ³	1,750
Tijolo de barro, densidade de 1.000 a 1.300 kg/m ³	0,700
Madeira, densidade de 450 a 600 kg/m ³	0,150
Isopor, densidade de 25 a 40 kg/m ³	0,035

Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2014).

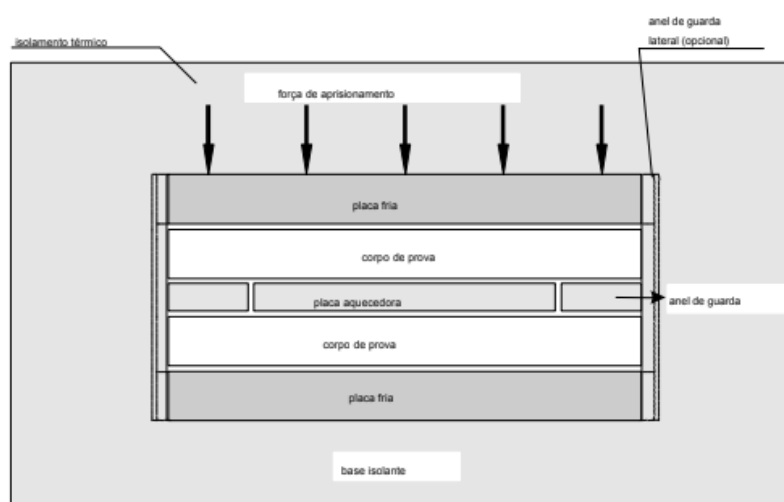
2.1.1 Técnicas para medição da condutividade térmica

Abaixo serão abordadas as técnicas utilizadas na determinação da condutividade térmica de materiais.

2.1.1.1 Placa quente protegida

O mecanismo da placa quente protegida (FIGURA 2) é utilizado para determinar a condutividade térmica e a resistência térmica de materiais sólidos ou granulares, compactos ou não, em regime permanente, conforme especificado pela NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005).

Figura 2 – Esquema do mecanismo da placa quente protegida



Fonte: NBR 15220-4 (ABNT, 2005).

Conforme Simioni (2005), pode-se dizer de um modo geral, que o método é aplicado para determinar a condutividade térmica de materiais de caráter isolante, pois a norma estipula um limite máximo de condutividade térmica de 2 W/ (m.k) .

As amostras do material a ser ensaiado devem ser planas e homogêneas, sendo submetidas a um fluxo de calor conhecido, por intermédio de uma placa colocada entre as duas amostras. A placa quente dissipa calor através de uma resistência aquecedora e é responsável por distribuir igualmente o calor pela área das amostras, formando uma superfície de mesma temperatura. É importante que se saiba a potência dissipada pela resistência aquecedora (SIMIONI, 2005).

A placa quente é dividida em duas partes independentes de aquecimento. A central é chamada de seção de medição, pois é a área dessa que é considerada no cálculo da condutividade térmica, e a parte externa é chamada de anel de guarda. Para que seja assegurado um fluxo de calor de mesma dimensão, o anel de guarda é monitorado para que sua temperatura se assemelhe a temperatura da placa central. É possível ainda utilizar um anel de guarda lateral para diminuir as perdas de calor, o qual deve ser mantido na mesma temperatura que os corpos de prova, conforme NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005).

As placas frias, dispostas nas extremidades do equipamento, são responsáveis por retirar o calor que atravessa as amostras, podendo estas placas terem um fluido de temperatura mais baixa circulando em seu interior. Para a obtenção das temperaturas do equipamento são instalados termopares nos pontos desejados (SIMIONI, 2005).

Conforme a norma NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005), o equipamento necessita de isolamento em todo o seu perímetro. Esse isolamento deve ser feito com 100 mm de isolante granulado ou 150 mm quando as amostras possuírem dimensões maiores que 500 mm.

A partir das temperaturas medidas nas faces das amostras, é possível então determinar a condutividade térmica dos materiais (SIMIONI, 2005).

Moura (1993) salienta que o método da placa quente protegida, por ser um método de regime permanente, demanda um tempo de cerca de 20 a 30 horas para que os resultados sejam obtidos.

2.1.1.2 Fluximétrico

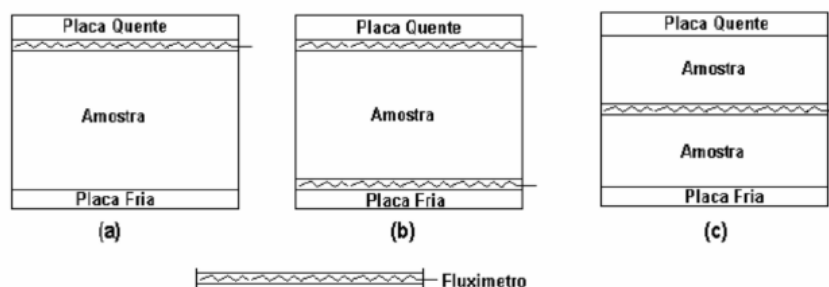
De acordo com Moura (1993), o método do fluxímetro é similar ao método da placa quente protegida, divergindo somente na forma de medição do fluxo de calor, a qual é realizada por intermédio de termofluxímetros calibrados antecipadamente. Esse método, segundo Simioni (2005), é um método secundário, uma vez que, o regime permanente é atingido com mais rapidez que no método da placa quente protegida.

Conforme a norma 15220 – 5 (ABNT, 2005), que regulamenta o ensaio fluximétrico, o teste resulta na quantificação da resistência térmica da amostra ensaiada, deste modo possibilitando calcular a condutividade térmica, desde que os corpos de prova sejam compostos do mesmo material.

A técnica consiste em submeter a amostra a um fluxo de calor produzido por uma resistência aquecedora, a qual transfere calor para a placa quente. Assim como no método da placa quente protegida, a placa quente tem a função de distribuir igualmente o calor em toda a sua superfície. Esse calor atravessa o transdutor e a amostra e é retirado por meio da placa fria, por onde circulam fluidos de temperatura mais baixa. O fluxímetro é responsável por medir o calor que passa por ele e pela amostra. Dessa forma, sabendo a área da amostra, sua espessura, o fluxo de calor e as temperaturas das superfícies da mesma, é possível determinar a condutividade térmica do material da amostra (SIMIONI, 2005).

Segundo a NBR 15220 – 5 (ABNT, 2005, p. 3) “O dispositivo fluximétrico compreende geralmente uma placa aquecedora, um ou dois fluxímetros, um ou dois corpos de prova e uma placa de resfriamento.” Na Figura 3 podemos ver as possíveis formas de aplicação do método fluximétrico.

Figura 3 – Formas de aplicação do método fluximétrico



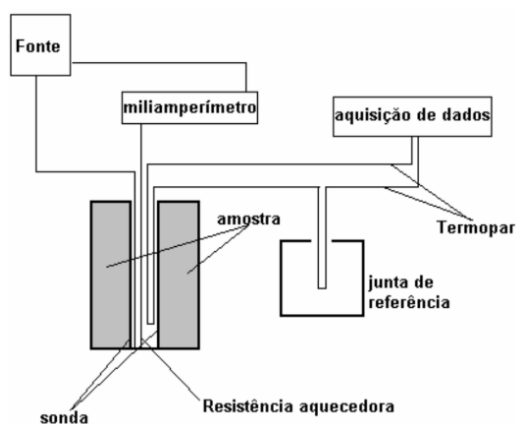
Fonte: Simioni (2005).

2.1.1.3 Linha quente ou Fio quente

Segundo Philippi et al. (1988) o método da linha quente ou fio quente é utilizado para medir a condutividade térmica de materiais homogêneos em fase sólida ou líquida e particularmente materiais úmidos (apud SIMIONI, 2005, p. 29).

A técnica consiste em inserir uma sonda cilíndrica no meio da amostra que se deseja aferir a condutividade térmica. A sonda possui em seu interior uma resistência elétrica que dissipa calor, então, por meio de um termopar, mede-se o progresso da temperatura na amostra. As informações coletadas são lançadas em um modelo matemático, permitindo, desse modo, obter-se a condutividade térmica do material submetido ao ensaio (SIMIONI, 2005). Na Figura 4 é possível observar um esquema do experimento.

Figura 4 – Esquema do método do fio quente

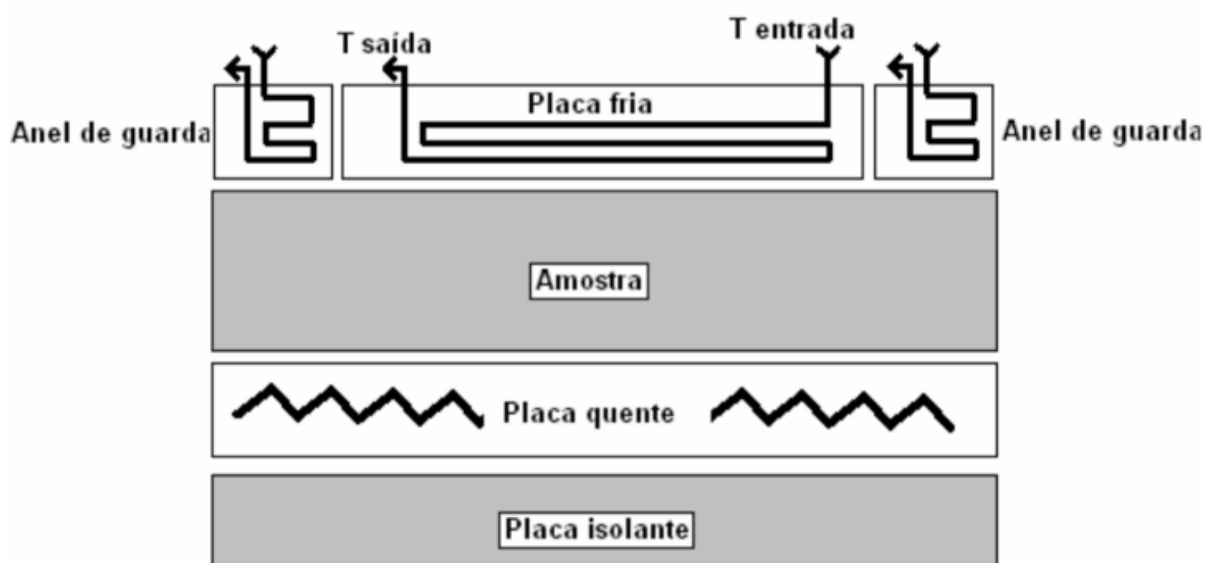


Fonte: Simioni (2005).

2.1.1.4 Calorímetro a água

Conforme Moura (1993), a área de interesse para medição no método do calorímetro a água é a placa fria. A medição das temperaturas é realizada na entrada e saída do fluido que percorre a placa fria através de termopares. O valor do fluxo de calor que atravessa as amostras é mensurado por intermédio da capacidade térmica por unidade de volume. A Figura 5 representa a esquematização do método.

Figura 5 – Esquema experimental do calorímetro a água

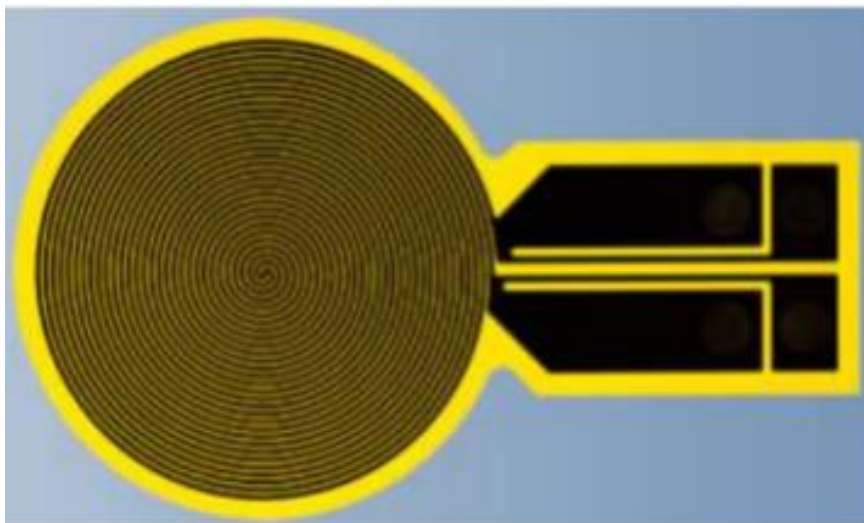


Fonte: Simioni (2005).

2.1.1.5 Disco quente

De acordo com Aquino (2014), o método do disco quente é composto por uma fonte de calor de metal em forma de um disco em duplo espiral embutida em material que é bom condutor térmico, mas eletricamente isolante. São ensaiadas duas amostras, as quais são colocadas em contato com ambos os lados do sensor, então é aplicada uma corrente elétrica na espiral, provocando uma elevação na temperatura. A condutividade térmica pode ser mensurada por intermédio dos gradientes de temperatura. A Figura 6 representa o esquema de um disco quente.

Figura 6 – Esquema do disco quente



Fonte: Aquino (2014).

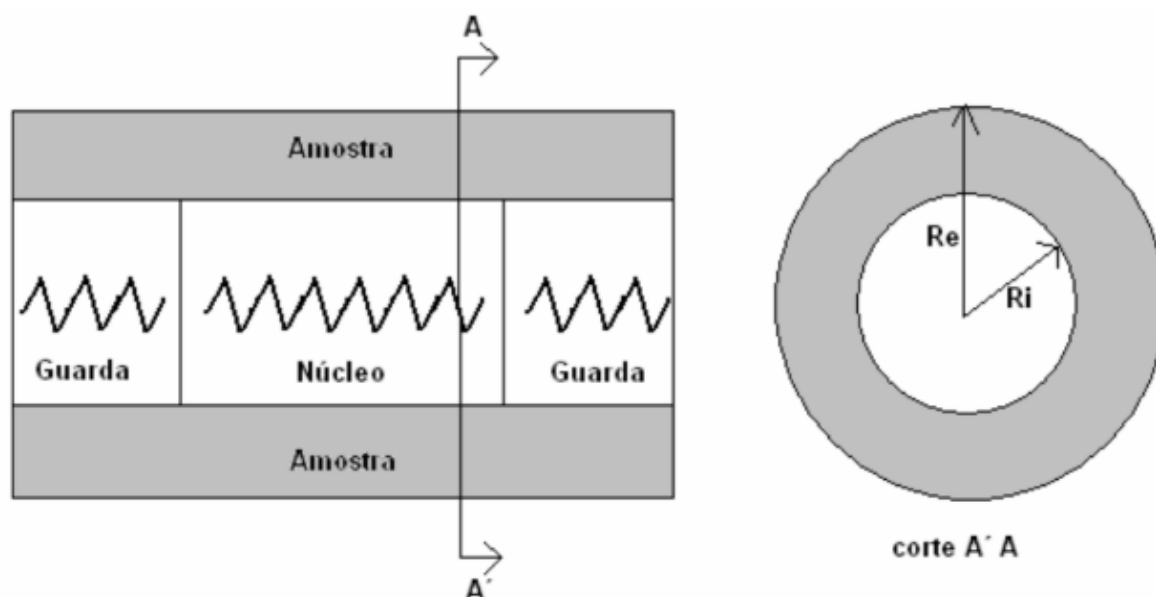
Segundo Moura (1993), este método é utilizado para determinar a condutividade térmica de materiais como plásticos mais rígidos e vidros em lâminas de 3 a 25 mm de espessura de diâmetro maior que 75 mm. Uma vez que as amostras possuem espessura fina, as perdas laterais são menores, entretanto, como o equipamento não possui anel de guarda, o mesmo precisa ser ajustado com amostras de condutividade térmica conhecida.

2.1.1.6 Tubo quente

Este método é empregado na determinação da condutividade térmica de materiais utilizados no isolamento de tubos pois estes, geralmente, possuem formato de cilindro anular (MOURA, 1993).

O equipamento (FIGURA 7) é formado pela área de aquecimento central cilíndrica, a qual fica confinada entre dois anéis laterais de guarda que garantem um fluxo radial pelo interior da seção que será medida. A determinação da condutividade térmica é realizada medindo-se a potência dissipada pelo aquecedor e pelas temperaturas das faces interna e externa da amostra (MOURA, 1993).

Figura 7 – Esquema do equipamento do tubo quente



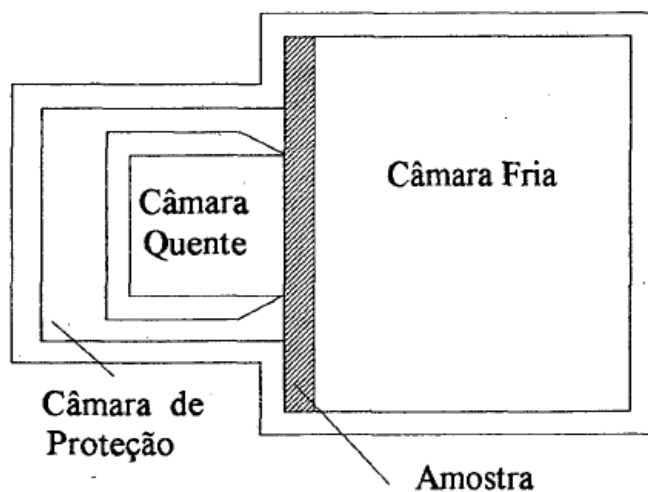
Fonte: Simioni (2005).

2.1.1.7 Caixa quente

Este método é utilizado na determinação da transmitância térmica e na condutividade térmica de componentes da construção civil, tais como paredes, janelas, pisos e telhados. Diferentemente dos demais métodos, citados anteriormente, neste método as propriedades dos materiais não precisam ser uniformes sobre a área de medição (MOURA, 1993).

O equipamento (FIGURA 8) é composto por uma câmara fria e uma quente, em algumas situações de uma câmara de proteção, a qual possui a mesma finalidade que os anéis de guarda no método da placa quente protegida. A amostra é inserida entre as caixas e colocada em regime estacionário, permitindo desse modo, determinar o fluxo de calor e o gradiente térmico através da amostra e, conseqüentemente a transmitância térmica e a condutividade térmica da amostra ensaiada (MOURA, 1993).

Figura 8 – Esquema do método da caixa quente



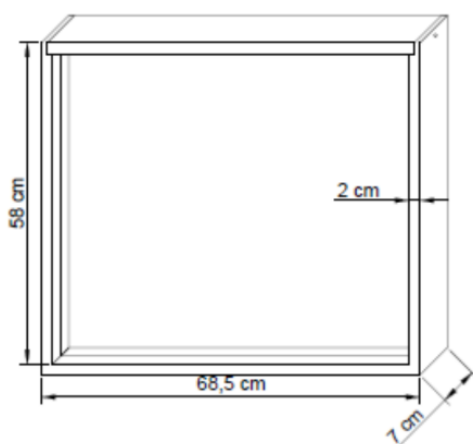
Fonte: Moura (1993).

2.1.1.8 Técnica experimental

A técnica experimental que será descrita neste tópico foi desenvolvida por Marcos (2015), na cidade de Vila Real em Portugal.

O molde para o ensaio foi construído com o intuito de substituir uma janela, o mesmo é formado por um caixilho de madeira com 2 cm de espessura e por duas folhas de vidro com espessura de 1 mm com espaçamento interno de 3 cm, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Molde de ensaio



Fonte: Marcos (2015).

O molde permite que os materiais a serem ensaiados sejam colocados entre os vidros. Deve-se atentar para que na medida em que os materiais são colocados dentro do molde, os mesmos sejam compactados, a fim de evitar espaços vazios. Após a etapa de preenchimento, o molde é fixado na parede da sala de ensaio com espuma de poliuretano para evitar trocas de ar entre o espaço interno e externo. Na Figura 10, é possível ver o molde fixado.

Figura 10 – Molde fixado sem preenchimento



Fonte: Marcos (2015).

As medições do fluxo de calor são realizadas por dois termofluxímetros e por quatro sensores de temperatura superficial, todos conectados a um *datalogger* que registra de forma contínua o valor do fluxo de calor e da temperatura superficial ao longo do ensaio. O *datalogger* é ligado a um computador com *software* específico para tratar os dados.

Na técnica experimental são utilizados também dois termohigrômetros, (equipamentos que medem a temperatura ambiente e umidade relativa), um deles instalado dentro da sala de ensaio e outro do lado de fora.

As condições ideais de ensaio são de tempo seco e temperaturas exteriores baixas ou tempo seco e temperaturas exteriores elevadas. Para garantir o fluxo de calor instala-se um equipamento de aquecimento ou arrefecimento no interior da sala de ensaio.

O ensaio deve ser realizado ao longo de 7 dias, nos quais a temperatura superficial, o fluxo de calor, as temperaturas dos ambientes interior e exterior, a umidade relativa são registrados em intervalos de 10 minutos.

A partir dos dados registrados e de equações, é possível então, determinar a condutividade térmica dos materiais ensaiados.

2.2 Materiais de isolamento térmico

Isolantes térmicos são materiais, ou conjunto de materiais, utilizados com o objetivo de reduzir a passagem de calor nos elementos onde os mesmos são empregados (KAPUNO; RATHORE, 2011, apud ANTUNES JUNIOR; MONTEGUTTI; HAUS, 2016, p. 218).

Segundo Gerken (2007), os materiais de proteção térmica empregados nas edificações tem por finalidade desacelerar o aumento da temperatura na superfície dos elementos das estruturas, garantindo que esses elementos possam exercer suas respectivas funções sem que existam danos.

De acordo com Silva (2013), os materiais de isolamento térmico, apesar de existirem desde a Grécia antiga, passaram a ser mais utilizados somente no início do século passado. Conforme Gerken (2007), no início do século XX, os primeiros materiais a serem empregados como materiais de proteção foram o próprio concreto e os blocos cerâmicos, entretanto, para que os resultados de conforto térmico fossem satisfatórios era necessário que esses materiais se fizessem presentes em grandes espessuras, exigindo um trabalho árduo, visto que a densidade desses materiais é elevada. Por volta de 1950, o gesso também passou a ser utilizado, pois o mesmo apresentava boa performance contra o fogo, no entanto, ainda demandando um trabalho árduo devido ao peso. As fibras só apareceram no final do século, combinadas com materiais cimentícios e gesso hidratado.

Na atualidade há uma variedade significativa de materiais de proteção térmica no mercado, com diferentes propriedades físicas e químicas e aspectos os quais interferem também na parte estética da edificação (GERKEN, 2007).

2.2.1 Importância do isolamento térmico nas edificações

Os materiais utilizados nas construções influenciam diretamente nas condições de conforto térmico no interior das edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA,

2014). Desse modo o emprego de materiais de isolamento térmico é uma alternativa que possibilita reduzir o consumo de energia, uma vez que, a necessidade de aquecimento e arrefecimento artificiais não se fazem presentes, colaborando para a diminuição das emissões de gases do efeito estufa (SILVA, 2013).

Spinelli, Cambeiro e Konrad (2018) corroboram com a afirmação anterior. De acordo com os autores, segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (2017), edificações novas, que utilizam técnicas energeticamente eficientes, tendem a consumir 50% menos que as demais edificações e apresentam uma redução de 30% quando há uma modernização em edificações já construídas. Em edifícios públicos, a iluminação e a climatização representam cerca de 70% da energia consumida, salientando a importância da utilização de isolamento térmico.

2.2.2 Tipos de materiais isolantes

Um material pode ser classificado como isolante térmico quando seu índice de condutividade térmica for menor que $0,07 \text{ W/m.k}$ (SPINELLI; CAMBEIRO; KONRAD, 2018).

Os materiais isolantes podem ser classificados segundo algumas especificações e sua constituição, desse modo, conforme sua origem, os materiais isolantes podem ser classificados como materiais de origem animal, vegetal, sintética e mineral (FREITAS; PINTO, 1997).

2.2.2.1 Materiais isolantes de origem sintética

Fabricados essencialmente a partir de hidrocarbonetos, os materiais isolantes sintéticos apresentam alta impermeabilidade ao vapor de água, entretanto, não são materiais renováveis ou recicláveis devido a sua composição (SILVA, 2013). Abaixo alguns exemplos desses materiais.

- **Poliestireno Expandido (EPS)**

Conhecido no Brasil também como isopor ou estiropor, o poliestireno expandido (FIGURA 11) é derivado do petróleo, após este passar por beneficiamento por meio de processos químicos (MENDES, 2012). É um material bastante eficiente no isolamento térmico de coberturas e de paredes, apresentando elevada resistência térmica a temperaturas de até -70°C a 80°C , tanto em obras de pequeno porte quanto em obras de grande porte (SANTOS et. al, 2013).

Apesar de possuir elevada resistência mecânica e ser fácil de manusear, o EPS não apresenta bom isolamento acústico, polui muito ao ser produzido e, em caso de incêndio, libera gases prejudiciais ao meio ambiente (SILVA, 2013).

Figura 11 – Poliestireno Expandido (EPS)



Fonte: Rio Reveste (2018).

- **Poliestireno Extrudido (XPS)**

O poliestireno extrudido (FIGURA 12) é produzido através de polímeros de estireno misturados e extrudados com dióxido de carbono ou hidrofluorcarbonetos (SILVA, 2013).

A aplicação do XPS é particularmente adequada à coberturas, fachadas e pavimentos. O material apresenta bom comportamento em relação à umidade, elevada resistência mecânica, fácil aplicação e manuseio e é relativamente resistente ao fogo (MENDES, 2012).

Figura 12 – Poliestireno Extrudido (XPS)



Fonte: Soluções Industriais (2018).

- **Poliuretano**

O poliuretano (FIGURA 13) é fabricado a partir da mistura do poliol de isocianato e, assim como o XPS, misturado a um agente expansivo (dióxido de carbono ou hidrofluorcarbonetos). Apresenta-se em forma de painéis de espuma no meio de duas folhas de diversos materiais, tais como papel kraft e alumínio (SILVA, 2013).

Apresenta certa vantagem de uso em relação a materiais como lã de vidro e lã de rocha, pois o mesmo é menos prejudicial à saúde (SILVA, 2013).

Figura 13 – Poliuretano



Fonte: Silva (2013).

2.2.2.2 Materiais isolantes de origem mineral

Os materiais isolantes de origem mineral têm como base matérias-primas naturais como por exemplo vidro reciclado, rocha e areia. Possuem alta resistência contra o fogo e normalmente são encontrados em forma de painéis (SILVA, 2013). Abaixo alguns exemplos desses materiais.

- **Lã de rocha**

Basicamente composta por rochas vulcânicas e outros minerais, a lã de rocha (FIGURA 14) é um material incombustível, possui alta resistência mecânica e não apodrece (MENDES, 2012).

A lã de rocha pode apresentar-se em forma de rolos ou painéis inflexíveis, contudo, apesar das vantagens que apresenta, foi classificada como um material carcinogênico, devido a isso, se deve evitar o contato do mesmo com o interior da edificação (SILVA, 2013).

Figura 14 – Painéis de lã de rocha



Fonte: Biolã (2018).

- **Lã de vidro**

Composta por areia e vidro reciclado, a lã de vidro (FIGURA 15) apresenta características semelhantes à da lã de rocha, entretanto quando exposta a ambientes úmidos afeta o desempenho térmico drasticamente (SILVA, 2013).

A lã de vidro pode ser encontrada em forma de rolos, quando usada para isolamento de coberturas e forros, e em forma de painéis, quando usada para

isolamento de paredes. A aplicação é fácil devido a flexibilidade e elasticidade da lã (SILVA, 2013).

Figura 15 – Lã de vidro em rolo



Fonte: Divicenter (2018).

- **Argila expandida**

A argila expandida (FIGURA 16) é encontrada em formato redondo, obtida a partir do cozimento de grânulos de argila a 110°C em fornos de expansão. É um material impermeável de alta resistência à compressão e à umidade e possui um desempenho térmico pequeno, sendo recomendado para uso em telhados ou caves (SILVA, 2013).

Figura 16 – Argila expandida



Fonte: BlogAEC ((2018).

2.2.2.3 Materiais isolantes de origem animal

Os materiais isolantes de origem animal são aqueles que provém da penugem ou pelugem de animais (SILVA, 2013). Abaixo alguns exemplos desses materiais.

- **Lã de ovelha**

A lã de ovelha (FIGURA 17) é um material isolante tanto para o frio quanto para o calor, não é inflamável, é reciclável e simples de instalar, no entanto apresenta baixa resistência mecânica. Para garantir que o material se mantenha agrupado é adicionado à lã, um ligante de fibra de poliéster (SILVA, 2013).

Figura 17 – Lã de ovelha em rolo



Fonte: ArchiExpo (2018).

- **Penas de pato**

A pena de pato (FIGURA 18) é um material que apresenta boa inércia térmica, é reciclável e não é nocivo à saúde. É composto de 70% de penas de pato, 10% de lã de ovelha e 20% de fibras, as quais fornecem flexibilidade ao material (SILVA, 2013).

Figura 18 – Pannel de penas de pato



Fonte: Silva (2013).

2.2.2.4 Materiais isolantes de origem vegetal

Os materiais isolantes de origem vegetal são aqueles que contém fibra vegetal em sua composição (SILVA, 2013). Abaixo alguns exemplos desses materiais.

- **Junco**

O junco (FIGURA 19) é um material usualmente encontrado na construção civil no uso de isolamentos térmicos de paredes ou telhados, pode ser empregado tanto internamente quanto externamente e é coberto por gesso (ASDRUBALI; D'ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015).

Figura 19 – Painel de junco aplicado em alvenaria



Fonte: Hiss Reet (2018).

- **Cortiça**

De acordo com Gil (2012), a cortiça (FIGURA 20) é um material totalmente natural, cuja matéria-prima provém dos troncos e ramos de uma planta denominada sobreiro. Ainda conforme o autor, o material pode ser aplicado no isolamento térmico de paredes, tetos e pavimentos.

Figura 20 – Painel de cortiça



Fonte: Isolatie (2018).

- **Palha**

A palha (FIGURA 21) é um material proveniente da coleta de cereais, como por exemplo o trigo. Apresenta bom desempenho térmico, ainda que exposto à umidade, e baixo custo. É um material reciclável, renovável e retarda a propagação de chamas em caso de incêndio (SILVA, 2013).

Figura 21 – Utilização da palha como isolamento térmico



Fonte: Sustentarqui (2018).

Santos et al. (2013) ressalta que para um bom desempenho é importante se observar as características técnicas e a densidade do material. A Quadro 1 exibe a densidade e a condutividade térmica dos materiais citados acima.

Quadro 1 – Especificações dos materiais citados anteriormente

Material	Densidade (kg/m ³)	Condutividade térmica (W/m°C)
Poliestireno expandido	10 a 40	0,04
Poliestireno extrudido	10 a 40	0,032
Poliuretano	40	0,023
Lã de rocha	20 a 150	0,037
Lã de vidro	13 a 100	0,039

Continua...

(Continuação)

Argila expandida	290 a 700	0,103 a 0,108
Lã de ovelha	10 a 20	0,03 a 0,045
Penas de pato	26 a 34	0,033 a 0,042
Junco	130 a 190	0,045 a 0,056
Cortiça (solto)	70 a 160	0,032 a 0,045
Palha	70 a 120	0,045 a 0,07

Fonte: Adaptado de Marcos (2015).

2.2.3 Conforto térmico

De acordo com a NBR 15220 – 1 (ABNT, 2005, p. 5), conforto térmico é definido como “Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Conforme Ruas (1999), a sensação de bem-estar sentida pelo indivíduo é resultado de uma combinação de fatores físicos do ambiente, somados a atividade que está sendo desenvolvida pelo mesmo e a sua vestimenta.

Conforme Lamberts (2016), as variáveis ambientais que exercem influência no conforto térmico são: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar.

- **Temperatura do ar**

Principal variável do conforto térmico, também chamada de temperatura de bulbo seco (TBS), a temperatura do ar se dá por meio da diferença entre a temperatura corporal do indivíduo e a temperatura relativa do ar em um determinado recinto (LAMBERTS, 2016).

- **Temperatura radiante média**

Segundo a NBR 15220 – 1 (ABNT, 2005), a temperatura radiante média é a “Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme.”

- **Velocidade do ar**

A velocidade do ar é a razão entre uma quantidade de ar em movimento por unidade de tempo. Da mesma forma que a temperatura do ar, a velocidade do ar é determinante para o conforto térmico do indivíduo. Quanto maior a movimentação de ar, maior será a troca térmica entre o corpo humano e o ar (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

- **Umidade relativa do ar**

Segundo Lamberts (2016), a umidade relativa do ar é definida pela quantidade de vapor d'água existente no ar saturado. Esse vapor é formado através do processo de evapotranspiração das partículas de H₂O no ambiente, sem haver modificação da sua temperatura.

O conforto térmico exerce papel fundamental sobre o corpo humano, quando as condições térmicas do ambiente não são favoráveis, o desconforto se dá pela sensação de calor ou de frio, ou seja, há um desequilíbrio entre a geração de energia térmica entre o organismo humano e o ambiente onde o mesmo se encontra locado (LAMBERTS, 2016). No momento em que essa situação ocorre, o corpo passa a fazer um esforço adicional para restabelecer o equilíbrio, representando uma sobrecarga para o indivíduo o que, conseqüentemente, reduz sua produtividade. Estudos desenvolvidos pela Comissão Americana da Ventilação apontam que para um aumento da temperatura ambiente de 20 °C para 24 °C, há uma diminuição de 15% no rendimento de trabalhos físicos e de 28% quando a temperatura ambiente estiver 30 °C com umidade relativa de 80% (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A arquitetura, de acordo com Frota e Schiffer (2003), deve servir ao homem. Portanto, as edificações no seu interior devem oferecer conforto ao ser humano, conferindo-lhe condições térmicas favoráveis ao seu conforto térmico. Para isso, se

faz necessário, não somente conhecer as necessidades do corpo humano, mas também as características e o comportamento térmico dos materiais que compõem as edificações, bem como as variações climáticas da região.

2.3 Bioclimatologia

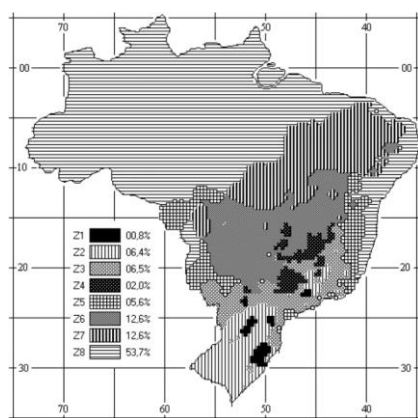
O projeto arquitetônico deve ser energeticamente eficiente e ao mesmo tempo oferecer condições adequadas de conforto térmico aos usuários. A adoção de estratégias como aproveitamento da luz, ventilação e aquecimento naturais possibilita diminuir o uso de ar condicionados e calefação, reduzindo, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica nos edifícios. Desse modo, a análise bioclimática do local de implantação do projeto é de suma importância, já que a mesma possibilita a aplicação de estratégias bioclimáticas adequadas a cada região (LAMBERTS, 2016).

As estratégias bioclimáticas podem ser definidas como:

Um conjunto de regras ou medidas de carácter geral destinadas a influenciarem a forma do edifício bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adotar num determinado edifício ou projeto deverão ser seleccionadas; tendo em atenção à especificidade climática do local, função do edifício e conseqüentemente, modo de ocupação e operação do mesmo, com o objetivo de promoverem um bom desempenho em termos de adaptação ao clima (GONÇALVES E GRAÇA, 2004, p. 11).

A NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005) separa o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (FIGURA 22) em conformidade com a similaridade climática de cada região.

Figura 22 – Mapa bioclimática brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

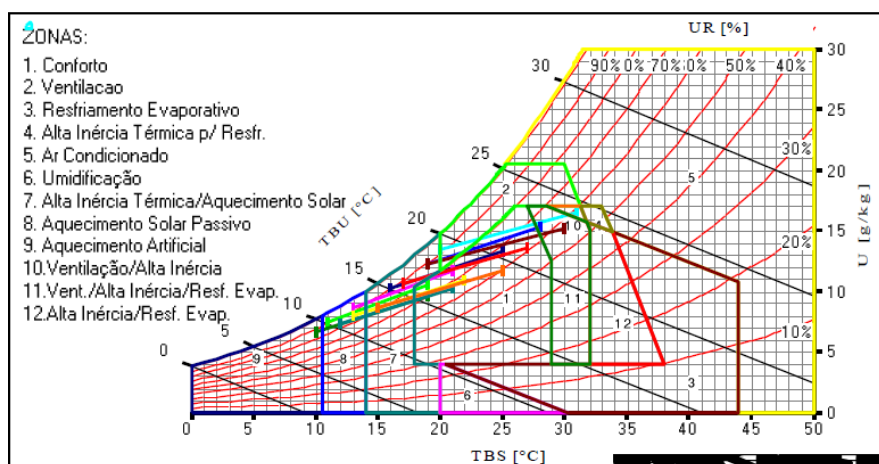
A norma define alguns critérios para cada zona em relação à dimensão das esquadrias, ao sombreamento necessário, a materialidade das paredes e coberturas e estratégias de condicionamento térmico passivo (LAMBERTS, 2016).

As técnicas de adequação do projeto arquitetônico ao clima foram desenvolvidas inicialmente por Olgyay e apresentadas em uma carta bioclimática (LAMBERTS, 2016). Posteriormente Givoni aperfeiçoou a carta bioclimática de Olgyay, correlacionando a mesma com o emprego de estratégias construtivas (SPINELLI; CAMBEIRO; KONRAD, 2017). Ainda de acordo com Spinelli, Cambeiro e Konrad (2017), os dados lançados no diagrama psicrométrico por Givoni, para elaboração da carta bioclimática, foram: temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e umidade absoluta.

2.3.1 Carta bioclimática da cidade de Lajeado – RS

A partir de estudos, Spinelli, Cambeiro e Konrad (2017), desenvolveram uma carta bioclimática para a cidade de Lajeado (FIGURA 23).

Figura 23 – Carta bioclimática para a cidade de Lajeado - RS



Fonte: Spinelli, Cambeiro e Konrad (2017).

De acordo com Spinelli, Cambeiro e Konrad (2017), é possível constatar o uso de estratégias nas zonas 1, 2, 7, 8, 9, 10 e 11 e, os autores elencam algumas técnicas para cada zona, conforme apresentadas abaixo:

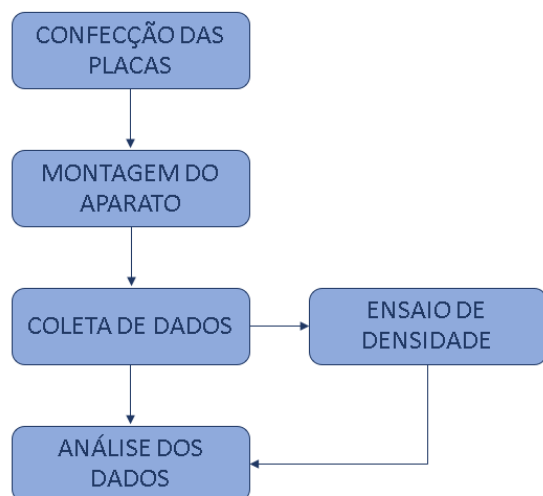
- Zona 1 - não há necessidade de uso de estratégias, uma vez que o conforto térmico é alcançado naturalmente;
- Zona 7 - pouca proteção nas esquadrias e uso da radiação solar para aquecimento dos materiais da edificação;
- Zona 8 - as aberturas devem ser projetadas para que recebam radiação solar nos dias de inverno e fiquem protegidas no verão;
- Zona 9 - uso eventual de lareira ou equipamentos de ar condicionado;
- Zonas 2, 10 e 11 - a edificação deve possuir elementos de alta inércia para agir no isolamento térmico e se pode fazer uso da estratégia de resfriamento evaporativo, desde que a umidade relativa do ar esteja baixa.

3 METODOLOGIA

Tendo em vista a dificuldade e o custo elevado em se aplicar as técnicas para determinar a condutividade térmica de materiais, a metodologia aplicada neste estudo teve como base a técnica experimental desenvolvida por Simioni (2005). De acordo com Gil (2008), a pesquisa experimental consiste em definir um instrumento de estudo, definir as variáveis que influem sobre o instrumento e definir os meios de controle e de análise dos impactos que as variáveis geram no instrumento. Quanto ao modo de abordagem, a pesquisa caracteriza-se por ser quanti-qualitativa. Conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa quantitativa expressa em forma de números as opiniões e informações para fazer uma análise e posteriormente classificá-las. Já a pesquisa qualitativa tem o local como a fonte dos dados, onde as questões são estudadas da forma como elas se exibem, sem que haja manipulação do pesquisador. É importante ressaltar que as duas formas de abordagem estão relacionadas e uma faz complemento a outra (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Para melhor desenvolvimento da pesquisa, a metodologia foi dividida em cinco etapas, conforme fluxograma apresentado abaixo (FIGURA 24) e detalhadas logo em seguida.

Figura 24 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Da autora (2018).

3.1 Confeção das placas

A seguir está descrito o método como as placas de palha de soja, casca de pinus, sabugo de milho e reboco com esferas de EPS foram confeccionadas.

3.1.1 Placas de palha de soja

A palha de soja utilizada na confecção das placas é proveniente da cidade de Nova Bréscia – RS. O resíduo agrícola foi recolhido após a colheita mecanizada da soja e doado pelo agricultor. A armazenagem da palha foi em sacos de *nylon* com aberturas e em local arejado para que a mesma pudesse secar naturalmente.

As placas foram confeccionadas com dimensões de 40x30 cm em formas de metal com ajustes para que as mesmas ficassem nas dimensões corretas. Nas formas foram utilizadas folhas de papel vegetal para que o material não aderisse nas paredes da mesma de maneira a facilitar a retirada das amostras.

Para a confecção, primeiramente foi necessário selecionar o material, visto que haviam alguns outros elementos provenientes do solo. Após a seleção, a palha foi disposta na forma, retirada e pesada, a fim de saber quanto material seria necessário (FIGURA 25).

Figura 25 – Disposição da palha de soja na forma



Fonte: Da autora (2018).

Posteriormente a pesagem da palha, a mesma voltou a forma e a ela foi acrescentado silicato de sódio para que se formasse uma placa sólida. O silicato de sódio foi sendo acrescentado aos poucos e homogeneamente misturado, até que o material fosse suficiente para envolver toda a palha. Da mesma forma que a palha o silicato também foi pesado. Por fim, para a secagem das placas, as mesmas foram levadas a estufa a uma temperatura de 60 °C por cinco horas.

Foram confeccionadas cinco placas de palha de soja (FIGURA 26) com a proporção de 200g de palha de soja e 363,33g de silicato de sódio.

Figura 26 – Placa de palha de soja



Fonte: Da autora (2018).

3.1.2 Placas de casca de pinus

As placas de casca de pinus foram confeccionadas com dimensões de 40x30 cm. O processo de confecção das placas de casca de pinus foi semelhante ao da placa citada anteriormente, diferindo somente na proporção de material.

Foram confeccionadas cinco placas de casca de pinus (FIGURA 27) na proporção de 916g de casca de pinus e 992g de silicato de sódio.

Figura 27 – Placa de casca de pinus



Fonte: Da autora (2018).

3.1.3 Placas de sabugo de milho

As placas de sabugo de milho foram confeccionadas da mesma forma e dimensões que as placas de palha de soja e casca de pinus, alterando somente a proporção entre o material e silicato de sódio.

Foram confeccionadas 4 placas de sabugo de milho (FIGURA 28) na proporção de 645g de sabugo de milho e 633g de silicato de sódio.

Figura 28 – Placa de sabugo de milho



Fonte: Da autora (2018).

3.1.4 Placas de reboco com esferas de EPS

As placas de reboco com esferas de EPS foram confeccionadas em formas de madeira com dimensões de 31 x 30 cm.

Primeiramente passou-se desmoldante nas formas de madeira, conforme Figura 29.

Figura 29 – Formas com desmoldante



Fonte: Da autora (2018).

Em seguida, na betoneira, foi adicionado cimento, areia, cal e esferas de EPS e misturou-se o material. Após os materiais estarem misturados acrescentou-se água aos poucos, até que a mistura virasse uma massa (FIGURA 30). A argamassa foi produzida com um traço volumétrico de 1:2:5 com adição de 35% de EPS em relação a areia.

Figura 30 – Argamassa pronta



Fonte: Da autora (2018).

Posteriormente a argamassa pronta, a mesma foi colocada nas formas (FIGURA 31) e essas foram levadas a câmara de vapor para que houvesse a cura da argamassa.

Figura 31 – Argamassa nas formas



Fonte: Da autora (2018).

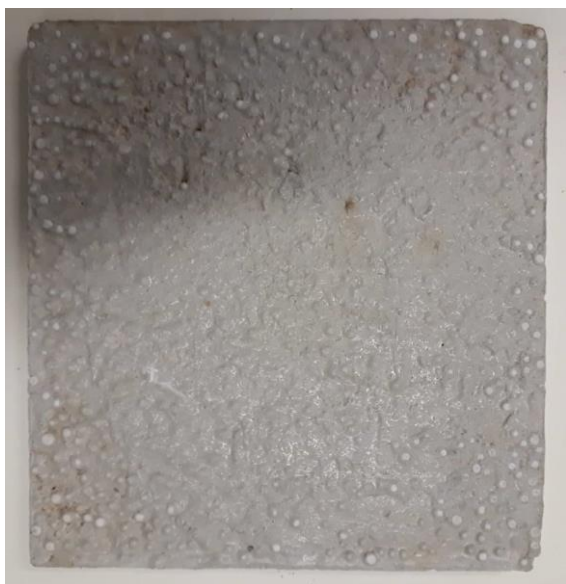
Foram confeccionadas cinco placas de reboco com esferas de EPS. Nas Figuras 32 e 33 é possível visualizar as placas prontas.

Figura 32 – Frente da placa de reboco com esferas de EPS



Fonte: Da autora (2018).

Figura 33 – Verso da placa de reboco com esferas de EPS



Fonte: Da autora (2018).

Para os ensaios ainda foram testadas placas de SlimStone e placas com camada interna de vácuo.

As placas de SlimStone são desenvolvidas pela empresa SlimStone de Garibaldi – RS e são compostas por uma placa de mármore ou granito de 5 mm de espessura, uma camada de laminado especial para composite, uma camada de composite natural e mais uma camada de laminado especial para composite, conforme Figura 34 (KUAMOTO, 2014). O composite possui formato *honeycomb*, semelhante a geometria dos favos de mel. Diferentemente da maioria dos *honeycombs* produzidos por alumínio ou fibra de vidro, esse é fabricado com polipropileno, permitindo uma maior economia de produto e leveza (PAZETO, 2017).

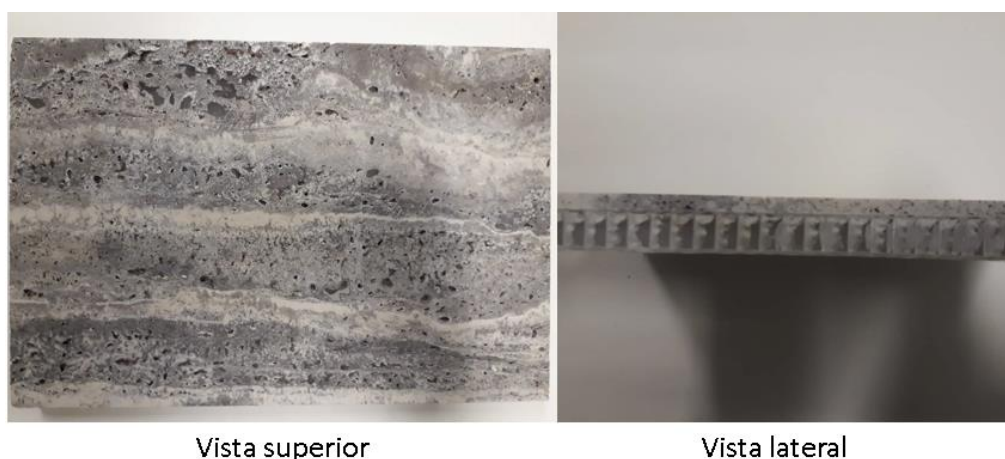
Figura 34 – Composição do SlimStone



Fonte: SlimStone (2018).

O material utilizado é proveniente das sobras dos cortes desse material, os quais seriam descartados em aterros sanitários. Essas placas possuem dimensões de 30 x 20 2 cm (FIGURA 35).

Figura 35 – Placa de SlimStone



Fonte: Da autora (2018).

As placas com camada interna de vácuo (FIGURA 36) foram executadas com dimensões de 32 x 30 x 4,2 cm, com acabamento em argamassa. No interior, as caixas de acrílico possuem dimensões de 28 x 26 x 2,2 cm, com três reforços, também em acrílico, para que a retirada do ar não gerasse deformações nas faces maiores (SPINELLI et al. 2018).

Figura 36 – Placa com elemento acrílico com vácuo



Fonte: Da autora (2018).

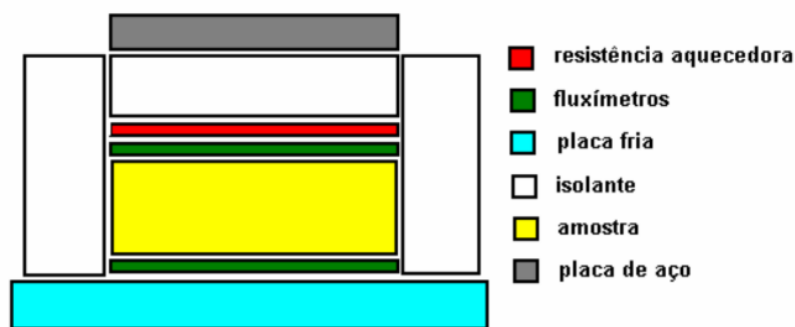
3.2 Montagem do aparato

O método adotado para determinar a condutividade térmica dos materiais foi baseado na técnica desenvolvida por Simione (2005). A técnica consiste na produção de um fluxo de calor através de uma placa indutora de calor e uma placa fria. A montagem do experimento utiliza uma placa de aço de 3 kg, cuja função é garantir que não haja ar entre as amostras e os fluxímetros; resistência aquecedora de 9,64 Ohms, alimentada por uma fonte de tensão-corrente regulável; fluxímetros para medição do fluxo de calor e placa fria, constituída de duralumínio com aletas de dissipação de calor para o ambiente. Nos fluxímetros estão instalados termopares do tipo T para medição das temperaturas nas faces da amostra (SIMIONI 2005).

O isolamento lateral possui aproximadamente 1 cm de espessura e é composto por pedaços de poliestireno expandido e algodão. Sua função é evitar as fugas de

calor que acontecem nas laterais dos fluxímetros e da amostra (FIGURA 37), (SIMIONI 2005).

Figura 37 – Montagem do experimento por Simioni



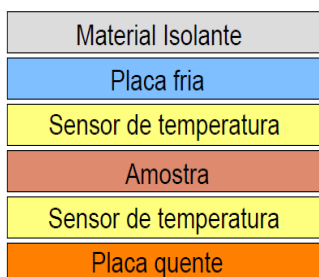
Fonte: Simioni (2005).

A temperatura no ambiente de realização do ensaio foi mantida artificialmente através de um sistema de climatização, a fim de minimizar erros nas medições (SIMIONI 2005).

A condutividade térmica foi obtida através de equação, mediante aferição do fluxo de calor, diferença de temperatura entre as faces da amostra e a espessura da amostra (SIMIONI 2005).

Para esse estudo o aparato desenvolvido foi disposto da seguinte forma: placa indutora de calor, sensor de temperatura (01), placa amostral, sensor de temperatura (02), placa fria e material isolante. O experimento também foi envolto por uma caixa de madeira com espessura de 2 cm com a finalidade de isolar termicamente, conforme apresentado na figura 38, 39.

Figura 38 – Esquema de montagem do aparato



Fonte: Da autora (2018).

Figura 39 – Aparato



Fonte: Da autora (2018).

3.2.1 Equipamentos utilizados na montagem do aparato

A seguir estão descritos os equipamentos que foram utilizados na montagem do aparato.

3.2.1.1 Material isolante

O material utilizado para isolar a parte superior do aparato foi uma placa de poliestireno expandido. A placa contém dimensões de 44 cm de comprimento por 34 cm de largura e 39 mm de espessura (FIGURA 40).

Figura 40 – Placa de EPS



Fonte: Da autora (2018).

3.2.1.2 Placa fria

A placa fria foi composta por duas chapas de alumínio com dimensões de 40 cm de comprimento e 30 cm de largura e 8 mm de espessura, conforme apresentado na Figura 41. A temperatura da placa foi mantida em temperatura ambiente.

Figura 41 – Placa de alumínio



Fonte: Da autora (2018).

3.2.1.3 Sensor de temperatura

Para medir a temperatura foram utilizados dois sensores de temperatura do tipo Pt-100 da marca Omega (FIGURA 42).

Figura 42 – Sensor de temperatura



Fonte: Da autora (2018).

De acordo com o fabricante, esses sensores de temperatura possuem um resistor que altera o valor da resistência conforme há variação de temperatura. A termo resistência desse modelo é de platina, desse modo a resistência a 0°C é de 100Ω. Funcionam em um intervalo de temperatura de -100°C a 400°C.

3.2.1.4 Chapa aquecedora

Para constituir a placa quente do aparato, foi utilizado uma chapa aquecedora da marca Marconi e modelo MA – 38 (FIGURA 43). A chapa aquecedora possui dimensões de 40 cm de comprimento e 30 cm de largura. De acordo com o fabricante a plataforma da chapa é em alumínio laminado e sua espessura é de 22 mm. A regulagem de temperatura se dá por meio de um controlador eletromecânico com regulagem de 50°C a 300°C, com variação de +/- 5°C, seu consumo é de 2400W e é alimentada por 220V.

Figura 43 – Chapa aquecedora

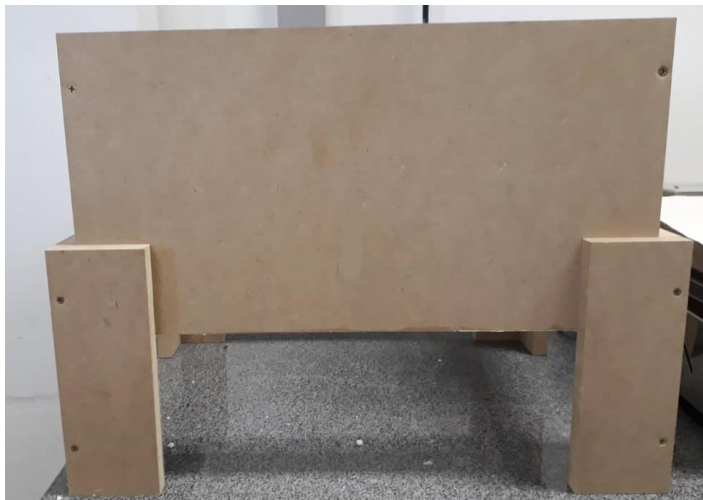


Fonte: Da autora (2018).

3.2.1.5 Caixa isolante

A caixa isolante (FIGURA 44) foi confeccionada com madeira MDF de 18 mm de espessura e média densidade. As dimensões internas da caixa são de 44 cm de comprimento e 34 cm de largura.

Figura 44 – Caixa isolante



Fonte: Da autora (2018).

A caixa isolante foi fabricada sem a parte inferior, de modo que a chapa aquecedora fosse o próprio fundo da caixa. Para que não ocorresse nenhuma interferência de temperaturas externas ao equipamento ou para que não houvesse perdas de calor da chapa aquecedora, foram fixados à caixa, no perímetro da chapa, pedaços de poliestireno expandido de 2 cm de espessura, conforme Figura 45.

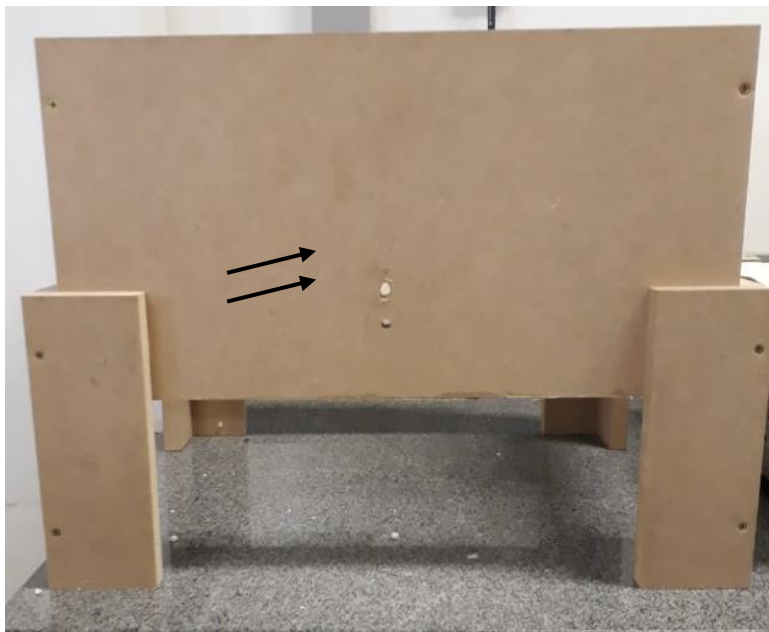
Figura 45 – Fundo da caixa isolante



Fonte: Da autora (2018).

Para que os sensores de temperatura pudessem ser instalados, foram realizados dois furos na caixa, um acima do outro, desse modo os sensores de temperatura ficaram um abaixo e outro acima da amostra, conforme figura 46 e 47.

Figura 46 – Furos para instalação dos sensores de temperatura



Fonte: Da autora (2018).

Figura 47 – Sensores instalados



Fonte: Da autora (2018).

3.3 Coleta de dados

Os ensaios foram realizados no laboratório de Saneamento Ambiental, localizado no prédio 11 no campus da Universidade do Vale do Taquari – Univates, a qual fica situada no estado do Rio Grande do Sul, no vale do Taquari, na cidade de Lajeado (FIGURA 48).

Figura 48 – Localização do campus da Univates em Lajeado – RS



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

3.3.1 Condições de temperatura do laboratório

O processo de controle de temperatura se faz de grande importância na precisão e obtenção dos dados amostrais, uma vez que, elimina a interferência das alterações dessa durante o dia, mantendo assim um valor médio constante. O laboratório onde os ensaios foram realizados é dotado de sistema de climatização fazendo-se desta forma uso do mesmo para que a temperatura se mantivesse na faixa dos 20° C para todas as coletas, podendo assim recriar as mesmas condições para todas as placas amostradas.

3.3.2 Equipamentos utilizados na coleta de dados

A seguir estão descritos os equipamentos que foram utilizados na coleta de dados.

3.3.2.1 Datalogger

Para que a leitura dos dados de temperatura dos sensores de temperatura fosse realizada, os mesmos foram conectados a um *datalogger*. O modelo de *datalogger* utilizado foi o modelo FieldLogger 128k da marca Novus (FIGURA 49). De acordo com o fabricante, o equipamento é um sistema de aquisição e registro de variáveis analógicas e opera como um registrador de dados. Possui oito canais de entrada de configuração individual a qual é realizada através de *software*.

Figura 49 – FieldLogger Novus



Fonte: Da autora (2018).

3.3.2.2 Conversor

O conversor utilizado para fazer a conexão entre o *FieldLogger* e o computador é da marca Novus modelo USB-i485 (FIGURA 50). O mesmo serve para converter os dados oriundos do experimento para dados numéricos utilizados na interpretação das variáveis térmicas.

Figura 50 – Conversor



Fonte: Da autora (2018).

3.3.2.3 Software

O *software* de monitoramento, registro e geração dos relatórios de monitoramento utilizado foi o *software* FieldChart. Esse *software* possibilita a comunicação e tratamento dos dados do *FieldLogger*, disponibilizando os dados registrados em formato de gráfico ou lista de dados.

O *software* foi programado para que a coleta de dados dos sensores de temperatura ocorresse a cada 1 minuto. Para cada amostra foram coletados cem dados, dessa forma, cada amostra permaneceu 1 hora e 40 minutos sob teste.

3.3.3 Disposição das placas sob a chapa quente

No ensaio as placas foram dispostas acima da chapa aquecedora, conforme pode ser visto na Figura 51.

Figura 51 – Disposição da placa de sabugo de milho sobre a chapa aquecedora



Fonte: Da autora (2018).

Entretanto as placas de reboco com esferas de EPS, as placas de *slimstone* e as placas com elemento acrílico com vácuo, diferentemente das placas de sabugo de milho, palha de soja e casca de pinus, não possuíam as mesmas dimensões que a chapa aquecedora. Sendo assim se fez necessário isolar a chapa aquecedora com poliestireno expandido nas áreas em que a mesma não era atingida pelas placas (FIGURAS 52, 53 E 54) para que o calor não atingisse a placa fria e interferisse nos resultados.

Figura 52 – Disposição da placa de *slimstone*



Fonte: Da autora (2018).

Figura 53 – Disposição da placa de reboco com esferas de EPS



Fonte: Da autora (2018).

Figura 54 – Disposição da placa com elemento acrílico com vácuo



Fonte: Da autora (2018).

3.4 Ensaio de densidade

O ensaio de densidade foi realizado para a casca de pinus, o sabugo de milho, a palha de soja e as placas de reboco com esferas de EPS. O processo de ensaio para os materiais naturais teve como base a metodologia aplicada por Marcos (2015), a qual apresenta ensaio para densidade aparente e densidade real. Para a placa de reboco com esferas de EPS foi utilizado o princípio de Arquimedes, descrito por Guimarães (1999).

3.4.1 Densidade aparente

A metodologia para determinar a densidade aparente consistiu em compactar os materiais dentro de uma proveta de massa conhecida de 25 ml, conforme Figura 55. Para isso a palha foi cortada em pedaços menores e o sabugo de milho e a casca de pinus foram moídos.

Figura 55 – Palha de soja compactada dentro da proveta



Fonte: Da autora (2018).

Após os materiais compactados dentro da proveta, determinou-se a massa do conjunto (amostra + proveta). Por fim, para obter a densidade aparente, determinou-se a massa da amostra (amostra + proveta - tara da proveta) e dividiu-se pelo volume da proveta.

3.4.2 Densidade real

Do mesmo modo que no processo de densidade aparente, para determinar a densidade real, os materiais foram compactados dentro de uma proveta de capacidade de 25 ml, porém, nesse caso, a proveta foi preenchida com água deionizada, até que o volume coincidisse com o volume dos sólidos, conforme Figuras 56 e 57.

Figura 56 – Proveta preenchida com água e sabugo de milho



Fonte: Da autora (2018).

Figura 57 – Proveta preenchida com água e casca de pinus



Fonte: Da autora (2018).

Posteriormente todo o conteúdo da proveta foi transferido para um funil, munido de um microfiltro de fibra de vidro de diâmetro de 47 mm e foi filtrado com o auxílio de uma bomba de vácuo (FIGURA 58). Após a filtragem, o líquido filtrado foi descontado do volume da amostra, então a relação massa da amostra pelo volume ocupado pela mesma foi refeita, resultando na densidade real.

Figura 58 – Bomba a vácuo



Fonte: Da autora (2018).

Após a filtragem, o líquido filtrado foi descontado do volume da amostra, então a relação massa da amostra pelo volume ocupado pela mesma foi refeita, resultando na densidade real.

3.4.3 Densidade da placa de reboco com esferas de EPS

Para determinar a densidade do reboco com esferas de EPS, foi imergido uma das placas em um recipiente graduado contendo água, ao observar o volume de água deslocado fez-se a relação entre a massa da placa, previamente mensurada, pelo volume de água deslocado.

3.5 Análise dos dados

De acordo com Simioni (2005) a condutividade térmica, através desse método, é obtida por intermédio da aferição dos seguintes parâmetros: fluxo de calor por unidade de área que atravessa a amostra, diferença de temperatura entre as faces da amostra e espessura da amostra. Sabendo os parâmetros mencionados, a condutividade térmica é calculada através da Fórmula 1.

$$\lambda = \frac{q.e}{\Delta T} \quad (1)$$

onde:

- λ é a condutividade térmica em (W/m. K);
- q é o fluxo de calor que atravessa as amostras (W/m²);
- e é a espessura da amostra (m);
- ΔT é a diferença de temperatura entre as faces quente e fria das amostras (K).

3.5.1 Cálculo fluxo de calor

Como visto anteriormente a unidade de medida do fluxo de calor é W/m², sendo assim, o fluxo de calor que atravessou as amostras foi obtido dividindo-se a

quantidade de energia fornecida pela chapa aquecedora, dada em W, pela área das amostras.

3.5.2 Espessura da amostra

A aferição da espessura das amostras de palha de soja, casca de pinus e sabugo de milho, foi efetuada com um paquímetro digital da marca Marberg, com resolução de 0,05mm. Foram efetuadas três medidas nos quatro lados de cada amostra e efetuado uma média dos valores.

3.5.3 Diferença de temperatura entre as faces da amostra

A diferença de temperatura entre as faces das amostras foi determinada pelos sensores, posicionados especificamente anterior ao material amostrado para obter a temperatura da face quente e o segundo sensor posterior a amostra para a obtenção dos dados térmicos da face fria.

3.5.4 Cálculo da condutividade térmica

Para o cálculo da condutividade térmica foram arbitradas três faixas de temperatura média na faixa de 40°C, 50°C e 60°C, nas amostragens das referidas temperaturas obteve-se os dados referentes ao comportamento térmico das faces frias e quentes para determinar o parâmetro de diferença de temperatura denominado ΔT .

3.6 Validação da técnica experimental

Para validação da técnica experimental, foram submetidos ao aparato placas de EPS, sendo que, esse material possui condutividade térmica conhecida e expressa na NBR 15220 – 2. As placas utilizadas possuem dimensões de 40 x 30 x 2 cm.

4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados do estudo bem como uma análise e discussão dos mesmos.

4.1 Dados de condutividade térmica

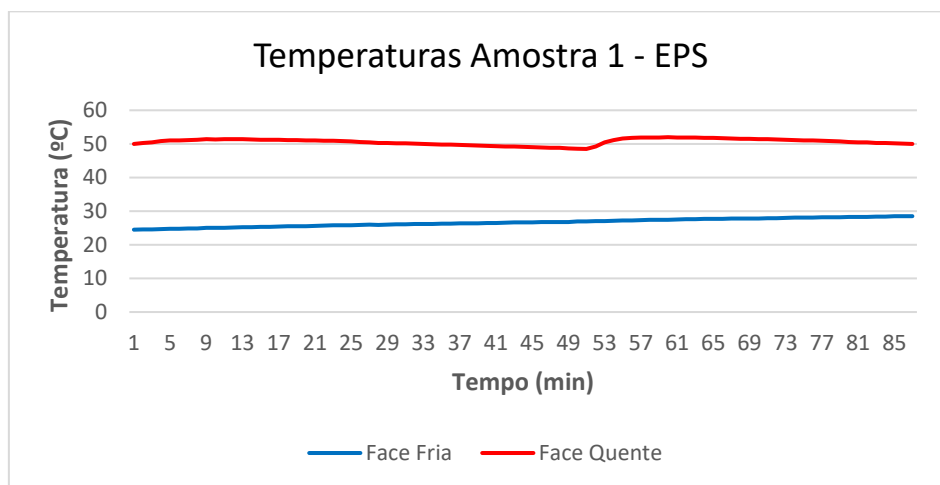
A seguir são apresentados os dados e os resultados do ensaio de condutividade térmica.

4.1.1 Amostras de referência

O ensaio com as amostras de poliestireno expandido foi realizado de forma a validar a metodologia proposta para determinar a condutividade térmica. Após realizar os testes, foi possível calcular a condutividade térmica do material e desse modo certificar se o valor encontrado é semelhante ao valor estabelecido pela NBR 15220 – 2.

Os dados de temperatura obtidos estão expressos graficamente por faixa de temperatura em que as amostras foram submetidas. O Gráfico 1 apresenta a evolução da temperatura nas faces quente e fria da amostra na faixa de 50°C.

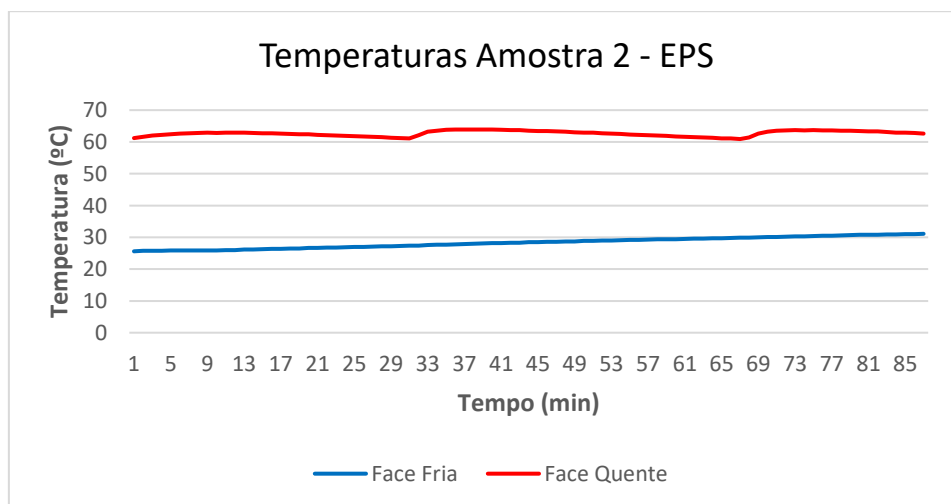
Gráfico 1 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de EPS



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 2 apresenta a evolução da temperatura nas faces quente e fria da amostra na faixa de 60°C.

Gráfico 2 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de EPS.



Fonte: Da autora (2018).

Como mencionado no item 3.5.4, para estabelecer o parâmetro de diferença de temperatura, para o cálculo da condutividade térmica, foi realizado uma média das temperaturas, sob as diferentes faixas, das faces quente e fria. O Quadro 2 apresenta esses resultados das médias de temperatura (sendo a temperatura média inicial a

face fria e a temperatura média final a face quente) bem como a condutividade térmica do material calculada para cada faixa de temperatura.

Quadro 2 – Resultado do ensaio para as amostras do material de referência

EPS	Temperatura Média Inicial Ti (°C)	Temperatura Média Final Tf (°C)	Condutividade térmica λ (W/mK)
Amostra 1	26,60	50,60	0,067
Amostra 2	28,30	62,60	0,044

Fonte: Da autora (2018).

De acordo com a NBR 15220 - 2 (ABNT, 2005) a condutividade térmica do poliestireno expandido é 0,040 W/m.k. Nos resultados apresentados acima, a condutividade térmica para temperatura na faixa dos 50° C é de 0,067 W/m.k e para a faixa de 60°C a condutividade térmica é 0,044 W/m.k, se apresentando mais próximo do valor expresso pela norma.

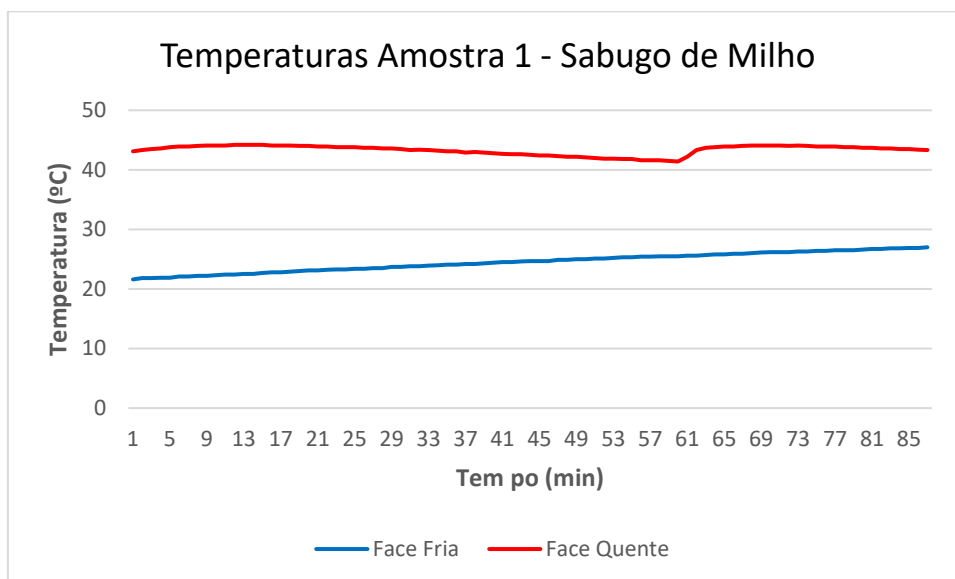
No estudo desenvolvido por Marcos (2015), a autora usa como material de referência o poliestireno extrudido (XPS) e conclui que o molde de ensaio proposto por ela é confiável e pode ser aplicado para determinar propriedades térmicas de materiais, mesmo havendo uma alteração de aproximadamente 10% entre os valores estabelecidos em norma para condutividade do XPS e o valor encontrado por ela em seus testes.

Sendo assim, é possível dizer que a técnica experimental desenvolvida nesse estudo se mostrou confiável quando a amostra é ensaiada a uma temperatura média próxima a 60°C.

4.1.2 Amostras de sabugo de milho

Assim como para as amostras de referência, os dados de temperatura das amostras de sabugo de milho foram expressos graficamente por faixa de temperatura em que as mesmas foram submetidas. O Gráfico 3 representa a evolução da temperatura nas faces quente e fria da amostra na faixa de 40°C.

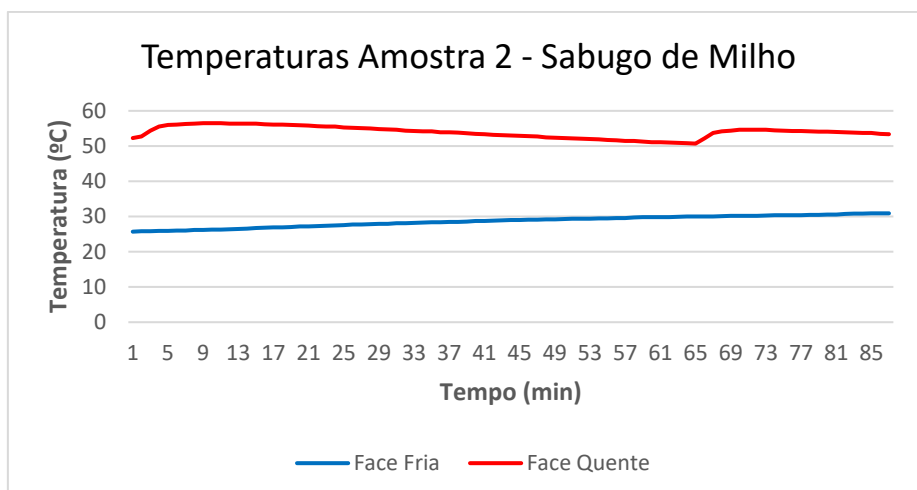
Gráfico 3 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de sabugo de milho.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 4 representa a evolução da temperatura nas faces quente e fria da amostra na faixa de 50°C.

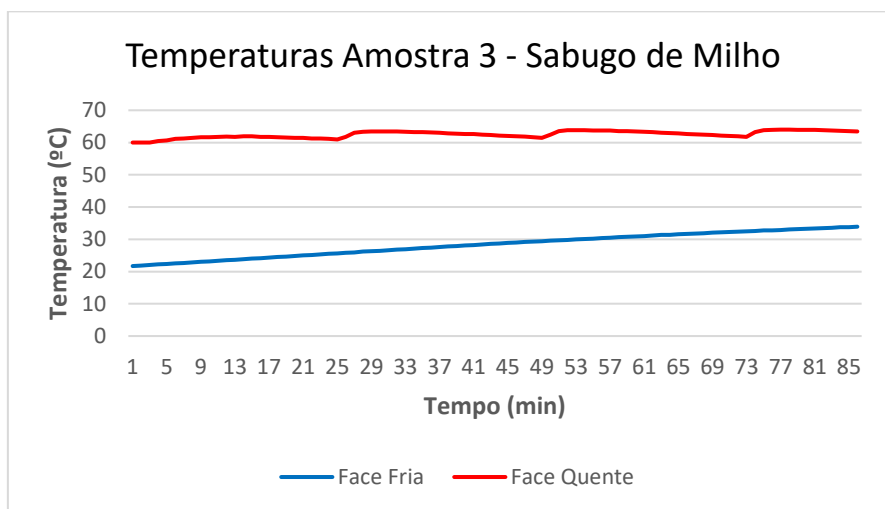
Gráfico 4 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de sabugo de milho.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 5 representa a evolução da temperatura nas faces quente e fria da amostra na faixa de 60°C.

Gráfico 5 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de sabugo de milho.



Fonte: Da autora (2018).

A média das temperaturas por faixa utilizadas para o cálculo da condutividade térmica estão apresentadas no Quadro 3, assim como os valores de condutividade térmica para cada uma delas.

Quadro 3 – Resultado do ensaio para as amostras de sabugo de milho

SABUGO	Temperatura Média Inicial T_i (°C)	Temperatura Média Final T_f (°C)	Condutividade térmica λ (W/m.k)
Amostra 1	24,50	43,50	0,086
Amostra 2	28,60	54,00	0,066
Amostra 3	28,50	62,60	0,052

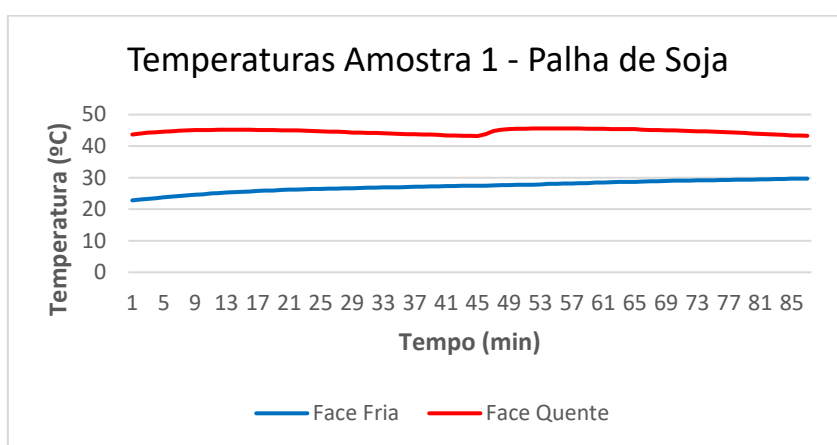
Fonte: Da autora (2018).

Com base nos resultados, determinou-se que o valor da condutividade térmica para as placas de sabugo de milho é de 0,052 W/m.k. O valor encontrado é semelhante ao quantificado em Marcos (2015), no qual o valor da condutividade térmica foi quantificado em 0,058 W/m.k.

4.1.3 Amostras de palha de soja

Do mesmo modo que os dados de evolução de temperatura das amostras de EPS e sabugo de milho, os dados das amostras de palha de soja foram apresentados através de gráficos. O Gráfico 6 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 40°C.

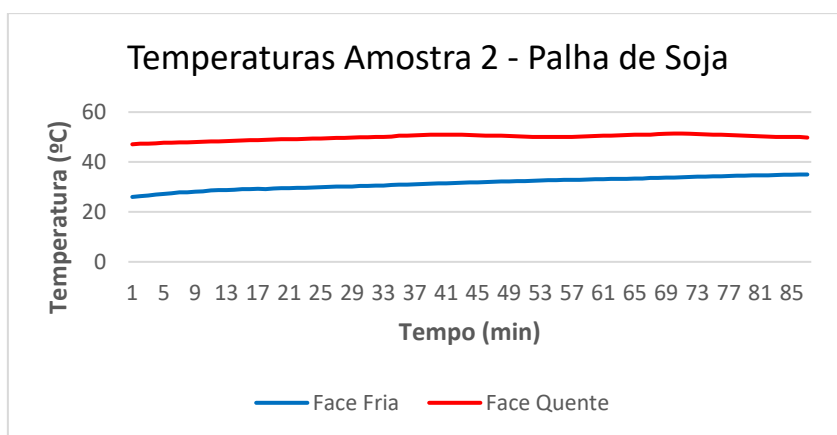
Gráfico 6 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de palha de soja.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 7 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 50°C.

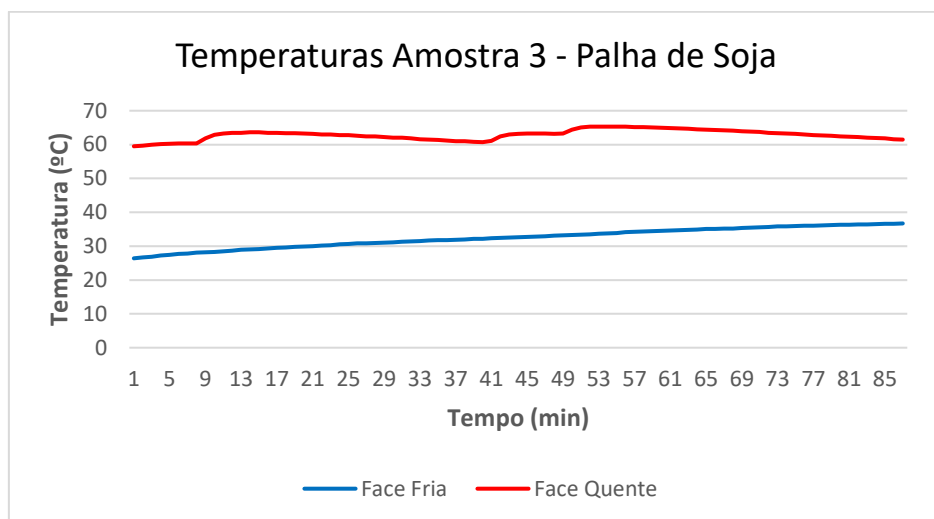
Gráfico 7 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de palha de soja.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 8 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 60°C.

Gráfico 8 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de palha de soja.



Fonte: Da autora (2018).

As temperaturas médias das faces quente e fria das faixas de temperatura sob as quais as amostras foram submetidas são apresentadas no Quadro 4 que traz também os valores de condutividade térmica.

Quadro 4 – Resultado do ensaio para as amostras de palha de soja

PALHA	Temperatura Média Inicial Ti (°C)	Temperatura Média Final Tf (°C)	Condutividade térmica λ (W/m.K)
Amostra 1	26,90	44,50	0,100
Amostra 2	31,90	50,10	0,081
Amostra 3	32,50	62,90	0,058

Fonte: Da autora (2018).

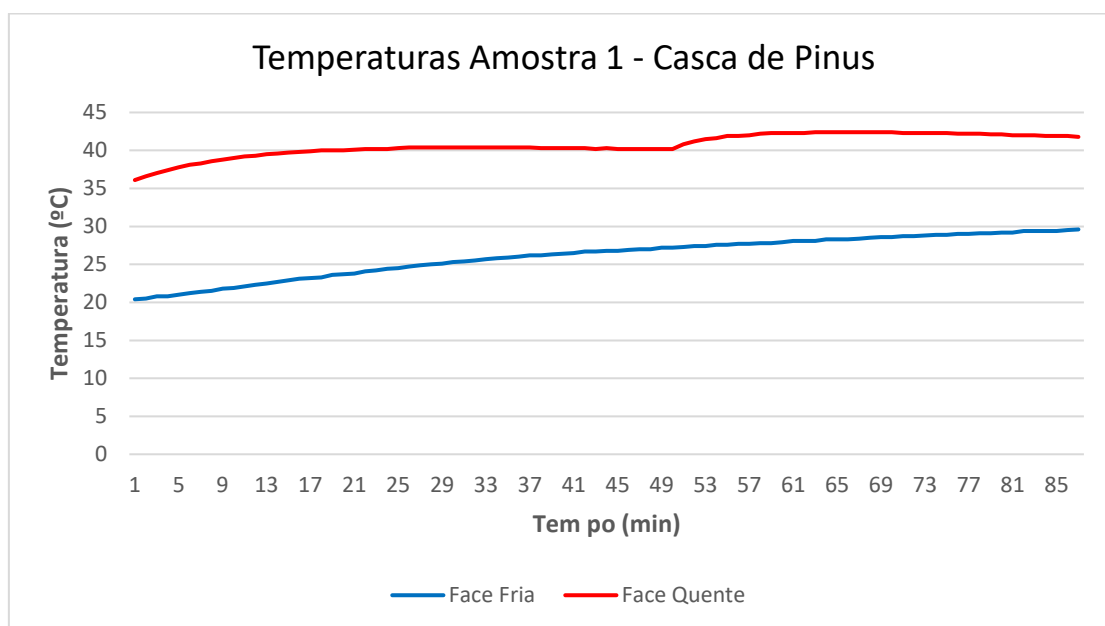
De acordo com os resultados para a palha de soja, observa-se que a condutividade da mesma ficou em 0,058 W/m.k. Conforme dados apresentados no Quadro 1 do Capítulo 2, a condutividade da palha de soja se assemelha a condutividade de outros materiais de origem vegetal como o junco, cuja condutividade

térmica compreende de 0,045 a 0,056 W/m.k e a palha, cuja condutividade térmica varia entre 0,045 a 0,07 W/m.k.

4.1.4 Amostras de casca de pinus

Outro material alvo de estudos foi a casca de árvore proveniente do pinus. Para esse material os dados de evolução da temperatura em diferentes faixas de temperatura também são apresentados graficamente. O Gráfico 9 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 40°C.

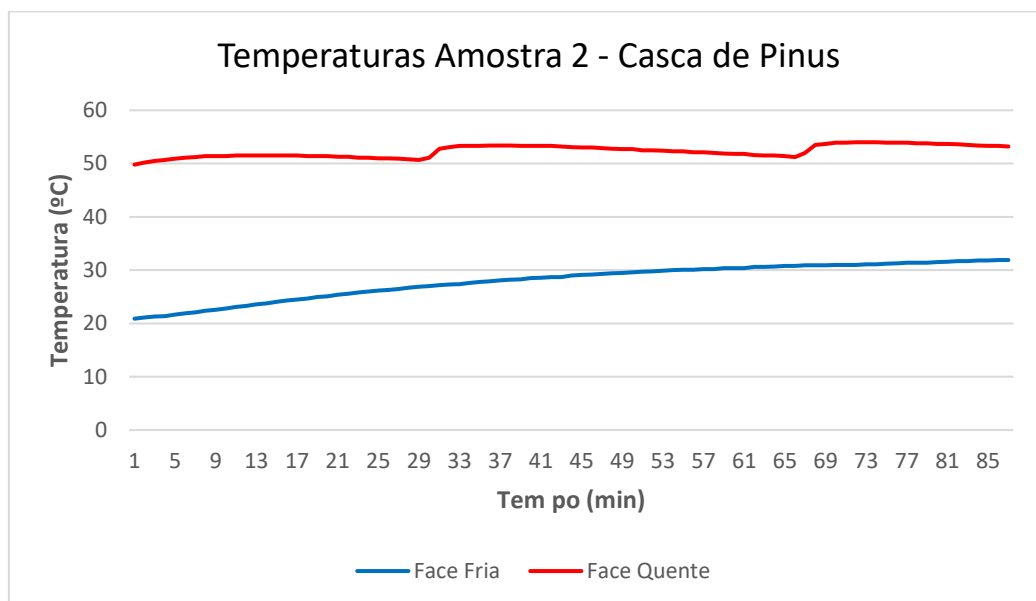
Gráfico 9 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de casca de pinus.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 10 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 50°C.

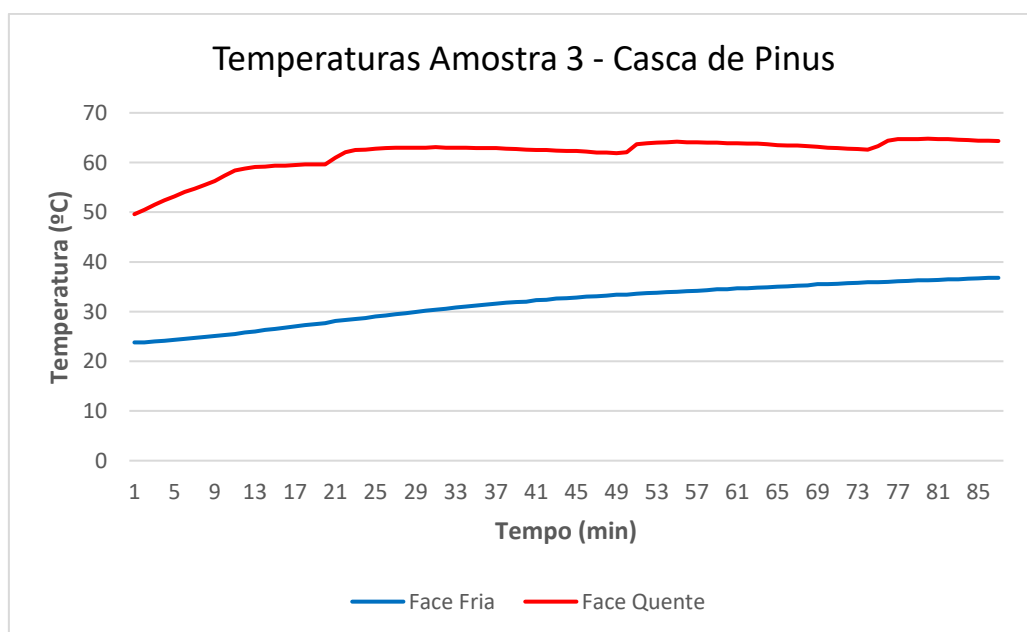
Gráfico 10 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de casca de pinus.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 11 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 60°C.

Gráfico 11 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de casca de pinus.



Fonte: Da autora (2018).

O Quadro 5 exibe a média de temperatura das diferentes faixas de temperatura sob a qual as amostras de casca de pinus foram expostas bem como os valores de condutividade térmica calculada para cada faixa.

Quadro 5 – Resultado do ensaio para as amostras de casca de pinus

CASCA	Temperatura Média Inicial Ti (°C)	Temperatura Média Final Tf (°C)	Condutividade térmica λ (W/mK)
Amostra 1	26,70	41,10	0,127
Amostra 2	28,10	52,40	0,075
Amostra 3	33,20	63,10	0,061

Fonte: Da autora (2018).

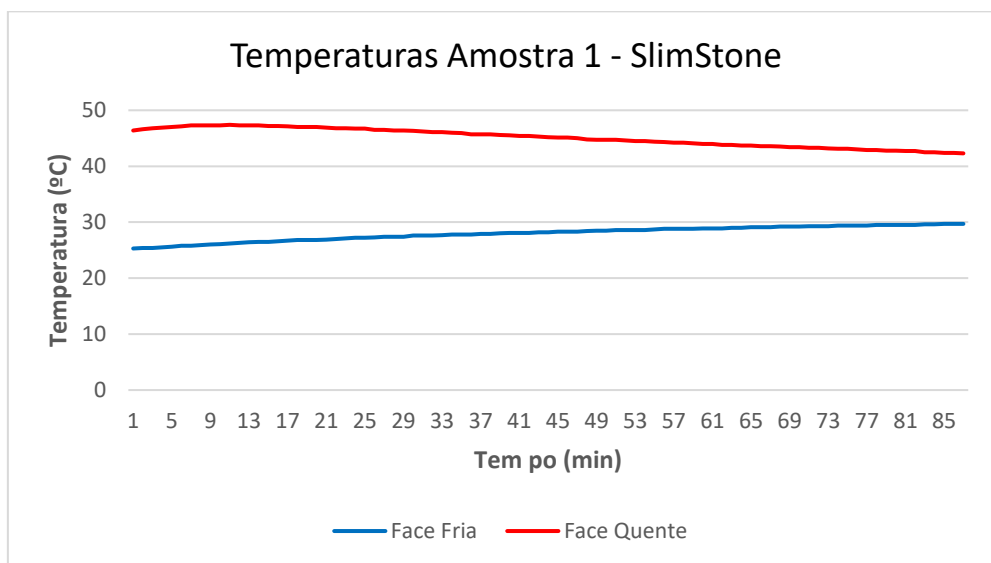
Segundo os resultados obtidos, a condutividade térmica da casca de pinus é de 0,061 W/m.k. De acordo com o Quadro 1 do Capítulo 2, os valores de condutividade para a cortiça, material também proveniente de árvores, variam entre 0,032 a 0,045 W/m.k. Apesar de os dois materiais serem oriundos de árvores, essa discrepância nos valores de condutividade térmica pode ser explicada devido as placas de casca de pinus terem sido confeccionadas com material de partículas maiores e desse modo com espaços vazios. Outro fato que contribui para a diferença é a densidade de cada material.

4.1.5 Amostras de SlimStone

De forma análoga aos materiais apresentados anteriormente, os dados de temperatura para as amostras de SlimStone são apresentados graficamente.

O Gráfico 12 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 40°C.

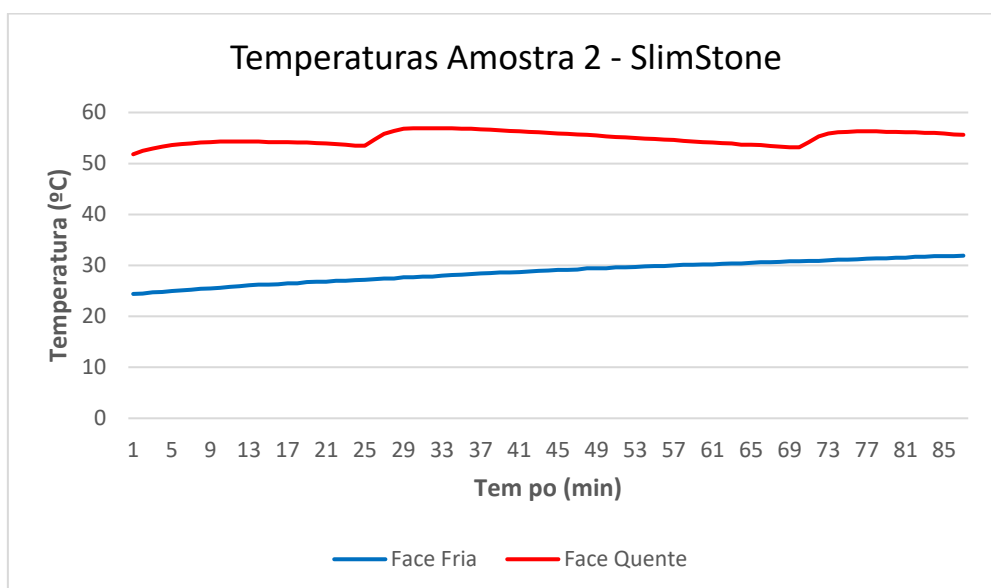
Gráfico 12 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de SlimStone.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 13 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 50°C.

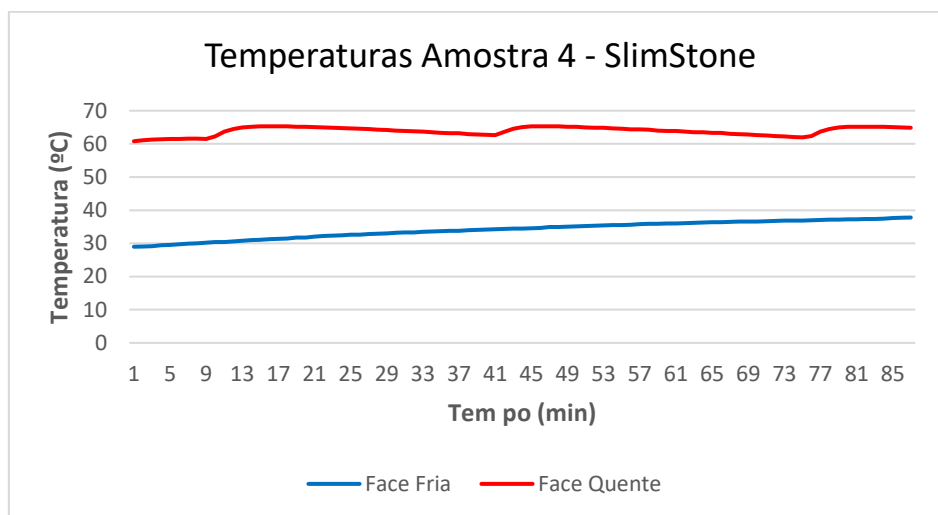
Gráfico 13 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de SlimStone.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 14 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 60°C.

Gráfico 14 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de SlimStone.



Fonte: Da autora (2018).

O Quadro 6 expõe a média das temperaturas por faixa de temperatura em que as amostras de SlimStone foram ensaiadas, assim como os valores de condutividade térmica.

Quadro 6 – Resultado do ensaio para as amostras de SlimStone

SLIMSTONE	Temperatura Média Inicial T_i (°C)	Temperatura Média Final T_f (°C)	Condutividade térmica λ (W/mK)
Amostra 1	27,80	45,10	0,108
Amostra 2	28,70	55,00	0,071
Amostra 3	34,10	63,80	0,063

Fonte: Da autora (2018).

Com base nas informações obtidas quantificou-se a condutividade térmica da placa de SlimStone em 0,063 W/m.k.

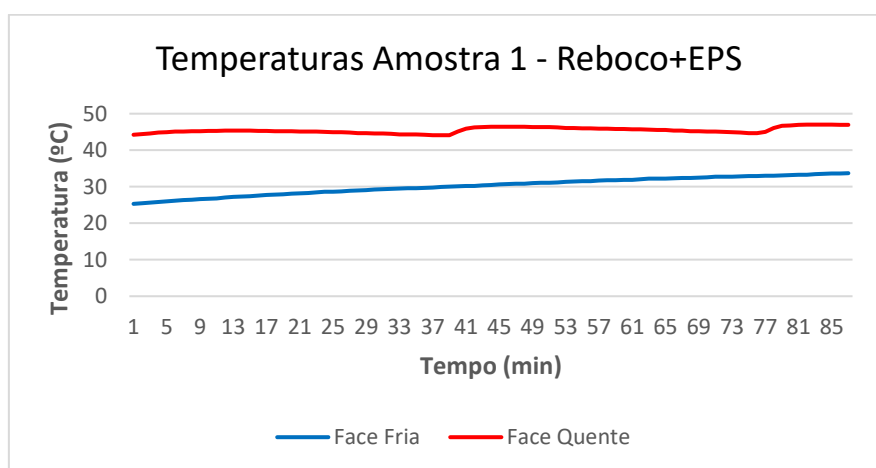
Visto que materiais de condutividade térmica menor que 0,070 W/m.k são classificados como isolantes térmicos, o SlimStone mostrou-se um material com

potencial animador para ser aplicado com esta finalidade, uma vez que, além de propiciar isolamento térmico, provém do reuso de materiais que seriam descartados em aterros sanitários.

4.1.6 Amostras de reboco com esferas de EPS

Outro material abordado nesse estudo foi reboco com esferas de EPS. Da mesma forma que os resultados dos materiais citados anteriormente, os dados sobre as placas de reboco com esferas de EPS estão expostos em forma de gráfico. O Gráfico 15 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 40°C.

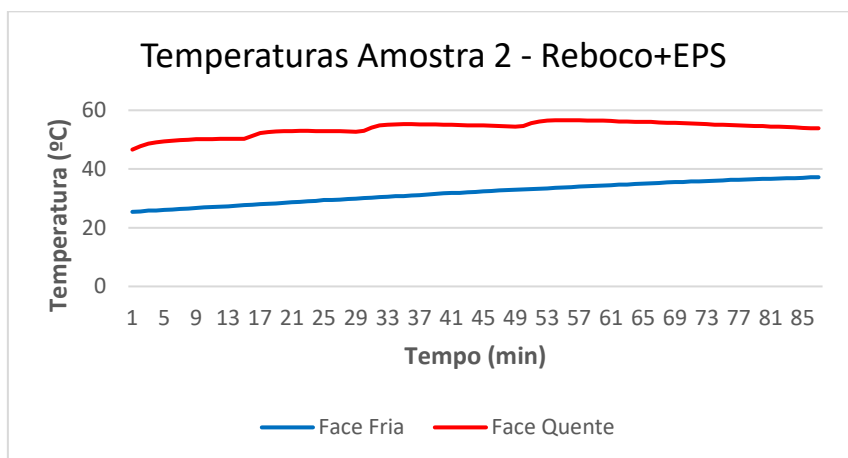
Gráfico 15 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de reboco com esferas de EPS.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 16 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 50°C.

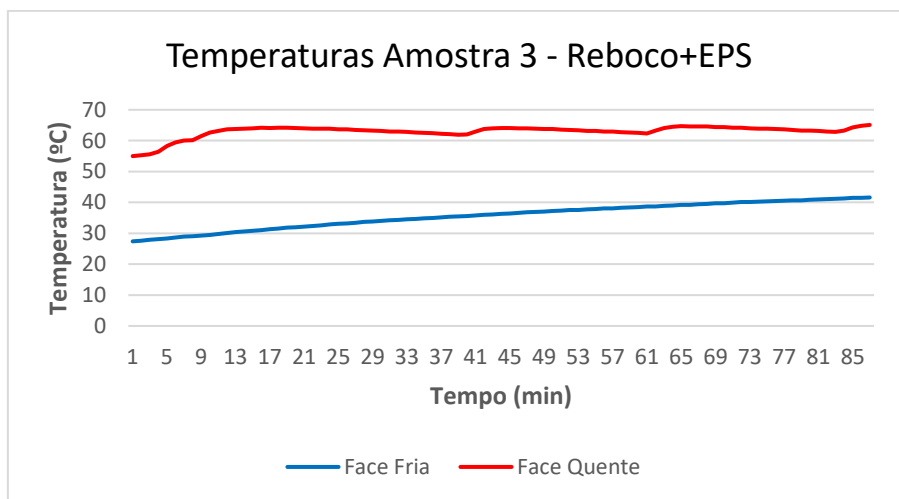
Gráfico 16 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de reboco com esferas de EPS.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 17 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 60°C.

Gráfico 17 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de reboco com esferas de EPS.



Fonte: Da autora (2018).

As temperaturas médias das faces quentes e fria das amostras de reboco com esferas de EPS estão expostas no quadro 7, o qual apresenta também a condutividade térmica calculada para cada faixa.

Quadro 7 – Resultado do ensaio para as amostras reboco com esferas de EPS

REBOCO+ EPS	Temperatura Média Inicial Ti (°C)	Temperatura Média Final Tf (°C)	Condutividade térmica λ (W/mK)
Amostra 1	29,80	45,30	0,121
Amostra 2	32,40	54,30	0,084
Amostra 3	36,30	63,50	0,067

Fonte: Da autora (2018).

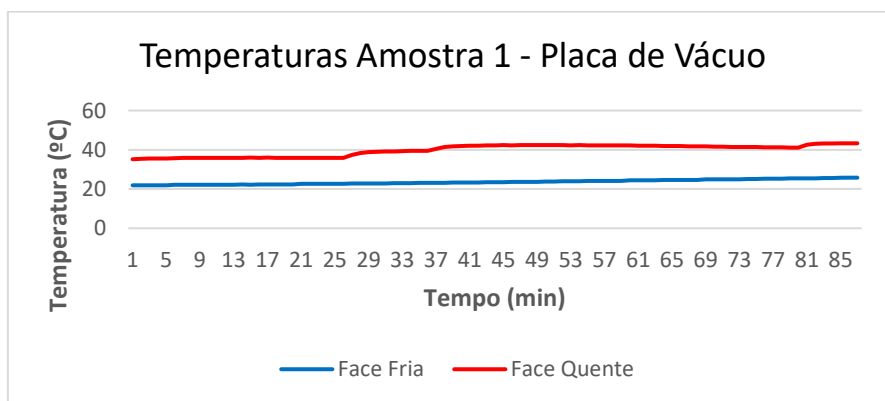
Com base nas informações obtidas quantificou-se a condutividade térmica da placa de reboco com esferas de EPS em 0,067 W/m.k.

O valor de condutividade térmica apontado pela NRB 15220 – 2 (ABNT, 2005) para argamassa de reboco é de 1,15 W/m.k. Sendo assim, observa-se que a adição das esferas de EPS na argamassa diminui consideravelmente a condutividade térmica, tornando-se até mesmo um material de caráter isolante.

4.1.7 Amostras de vácuo com elemento acrílico

De forma análoga aos demais materiais, os resultados obtidos durante o processo de coleta de dados estão dispostos em forma de gráfico. O Gráfico 18 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 40°C.

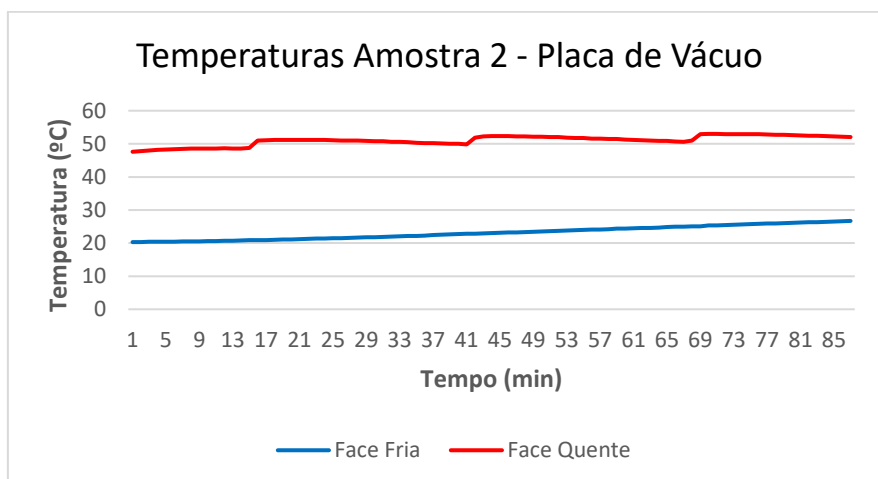
Gráfico 18 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 40°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 19 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 50°C.

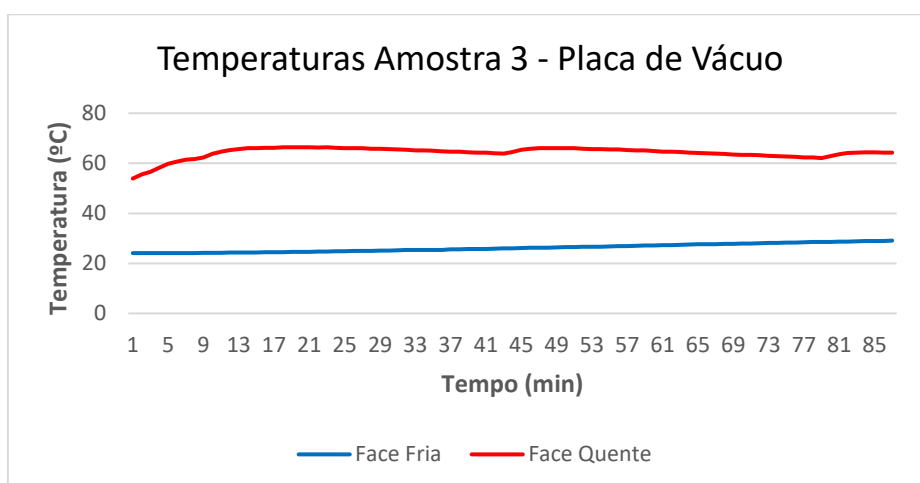
Gráfico 19 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 50°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.



Fonte: Da autora (2018).

O Gráfico 20 expressa a evolução da temperatura quando a amostra é submetida a uma temperatura na faixa dos 60°C.

Gráfico 20 – Evolução da temperatura ao longo do tempo na faixa de 60°C para amostra de vácuo com elemento acrílico.



Fonte: Da autora (2018).

O quadro 8 expõe a média das temperaturas por faixa de temperatura em que as amostras de vácuo com elemento acrílico foram ensaiadas, assim como os valores de condutividade térmica.

Quadro 8 – Resultado do ensaio para as placas de vácuo com elemento de acrílico

VÁCUO	Temperatura Média Inicial Ti (°C)	Temperatura Média Final Tf (°C)	Condutividade térmica λ (W/mK)
Amostra 1	24,50	42,10	0,222
Amostra 2	23,70	51,60	0,138
Amostra 3	26,30	64,70	0,102

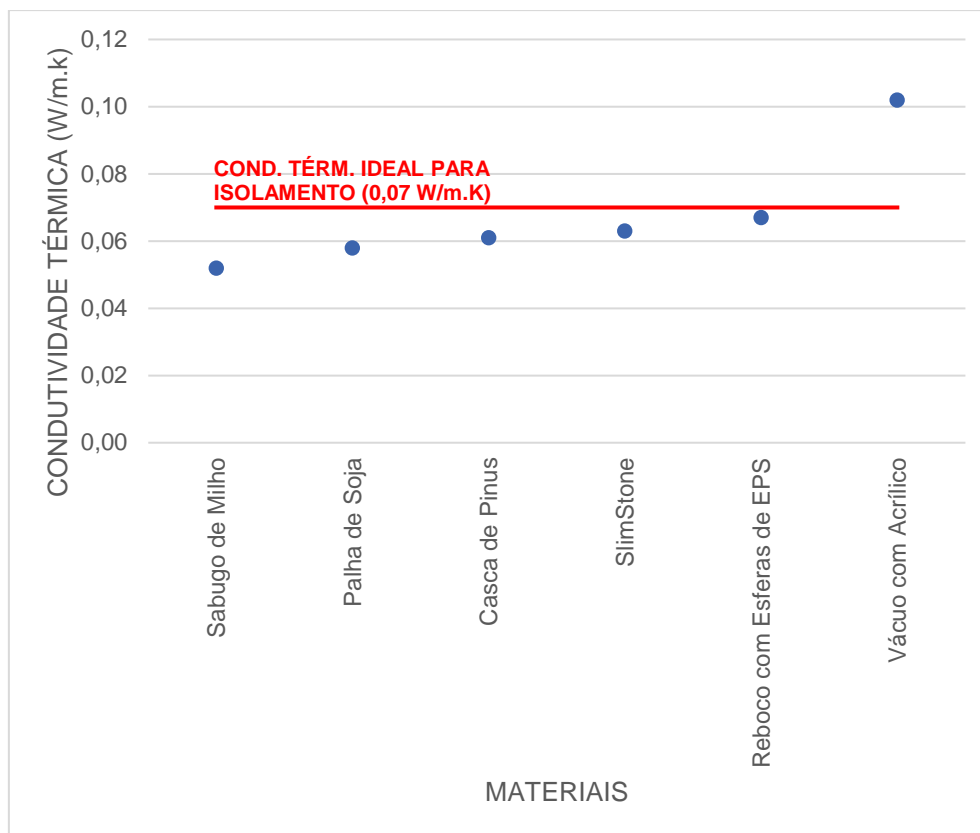
Fonte: Da autora (2018).

Com base nas informações obtidas quantificou-se a condutividade térmica da placa vácuo com elemento acrílico em 0,102 W/m.k.

É possível ver que há uma discrepância entre os valores dos demais materiais citados nesse estudo e as amostras de vácuo com elemento acrílico, esse fato pode ser justificado pela diferença de espessura significativa entre a amostra de referência e a amostra de vácuo com elemento acrílico. De acordo com Simioni (2005), a espessura da amostra exerce grande influência no valor da condutividade térmica, sendo que quanto maior a espessura maior será o erro na medição.

O Gráfico 21 demonstra de forma comparativa as condutividades térmicas dos materiais analisados nesse estudo. Através desse é possível observar a importância de estudos acerca da condutividade térmica de materiais alternativos, de baixo impacto ambiental e materiais provenientes de reuso, uma vez que esses apresentaram condutividade térmica abaixo da ideal para isolamento térmico.

Gráfico 21 – Comparativo entre as condutividades térmicas dos materiais



Fonte: Da autora (2018).

4.2 Dados do ensaio de densidade

Os resultados obtidos no ensaio de densidade estão dispostos no quadro 9.

Quadro 9 – Resultado do ensaio de densidade

Material	Densidade Aparente (kg/m³)	Densidade Real (kg/m³)
Palha de soja	162	238
Casca de pinus	232	331
Sabugo de milho	179	228
Placa EPS	-	1648,50

Fonte: Da autora (2018).

Em uma análise dos valores resultantes do ensaio é possível observar que as densidades reais da palha de soja, casca de pinus e do sabugo de milho se

assemelham as apresentadas por Marcos (2015) cujos valores são 260 kg/m³, 310 kg/m³ e 180 kg/m³, respectivamente.

Os valores de densidade também estão diretamente relacionados a condutividade térmica. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a condutividade térmica depende da densidade do material analisado, quanto menor a densidade do material, menor é a sua condutividade térmica. Essa relação é apresentada no Quadro 10 a seguir.

Quadro 10 – Relação entre a densidade dos materiais e a condutividade térmica

Material	Densidade Real (kg/m ³)	Condutividade Térmica λ (W/m ² K)
Palha de soja	238	0,058
Casca de pinus	331	0,061
Sabugo de milho	228	0,052
Placa EPS	1648,50	0,067

Fonte: Da autora (2018).

De acordo com os dados expostos no quadro, a relação entre a densidade e a condutividade dos materiais fica evidente, concordando com a tese dos autores citados anteriormente.

5 CONCLUSÃO

O conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais permite aplicá-los da maneira mais adequada possível e dessa forma maximizar o potencial dos mesmos, apesar disso, no Brasil, as propriedades térmicas dos materiais ainda são pouco exploradas. Uma das propriedades mais importantes é a condutividade térmica, através dela outros parâmetros podem ser estabelecidos tais como condutância, transmitância e resistência térmica, no entanto, ainda são poucos os laboratórios que possuem equipamento para ensaios. Em virtude disso o presente estudo aborda o desenvolvimento de uma técnica experimental cuja finalidade é determinar a condutividade térmica de novos materiais com potencial para isolamento térmico.

Para validar o experimento foram submetidos aos testes amostras de poliestireno expandido sob diferentes faixas de temperatura. Os resultados mostraram-se satisfatórios quando a amostra foi submetida a uma faixa média de temperatura próxima aos 60°C, resultando em uma condutividade térmica de 0,044 W/m. k, havendo uma alteração de 10% entre o valor apresentado pela norma para a condutividade térmica do EPS e o valor encontrado no teste.

Foram ensaiadas também amostras de sabugo de milho, palha de soja, casca de pinus, SlimStone, reboco com esferas de EPS e vácuo com elemento acrílico, as quais apresentaram valores de condutividade térmica de 0,052, 0,058, 0,061, 0,063, 0,067, 0,102 W/m. k, respectivamente. As pesquisas acerca da condutividade térmica são importantes para a realização de estudos sobre o desempenho termo-energético das edificações, além disso, Dutra (2010) ressalta sobre a importância da utilização

de materiais de construção que possuam menor consumo energético e combustíveis fósseis durante a fabricação.

O ensaio de densidade apresentou valores de 228 kg/m³ para o sabugo de milho, 238 kg/m³ para palha de soja, 331 kg/m³ para a casca de pinus e 1648,50 kg/m³ para a placa de reboco com esferas de EPS, confirmando a relação entre a condutividade térmica e a densidade de que quanto maior a densidade maior a condutividade térmica.

Com base nas informações obtidas nesse estudo observa-se que a técnica experimental se revelou confiável quando as amostras são submetidas a uma temperatura média na faixa dos 60°C, é importante ressaltar também que as amostras quanto mais espessas maiores são os erros nos resultados. Outro ponto importante a ser destacado é a condutividade que os materiais apresentaram, com exceção da placa de vácuo com elemento acrílico, os demais materiais podem ser classificados como isolantes térmicos, uma vez que a condutividade térmica ficou abaixo de 0,070 W/m.k.

Para estudos futuros, sugere-se a pesquisa de outros materiais de caráter semelhante aos apresentados nesse estudo, bem como a aplicação dos mesmos em protótipos de tamanho real para avaliar se o desempenho térmico se mostra semelhante ao apresentado durante os testes em laboratório.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15220-1 – Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

ABNT. NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

ABNT. NBR 15220-4 – Desempenho térmico de edificações: Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

ABNT. NBR 15220-5 – Desempenho térmico de edificações: Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

ANTUNES JUNIOR, Claudio; MONTEGUTTI, Marilise Cristine; HAUS, Tiago Luis. Análise comparativa da eficiência de isolantes térmicos. **Caderno PAIC**, v. 17, n. 1, p. 211-235, 2016. Disponível em: <<https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/213>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

AQUINO, Josué Alexandre. **Análise e aperfeiçoamento de um Aparato experimental para a determinação da condutividade térmica de materiais metálicos sólidos**. 2014. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2014.

ARCHIEXPO. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.archiexpo.com/pt/prod/thermafleece/product-84214-992837.html>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BALTAR, Marta Garcia; KAEHLER, José Wagner Maciel; PEREIRA, Luís Alberto. Indústria da construção civil e eficiência energética. **Engenharia, Inovação e Desenvolvimento**, v. 2, p. 339-344, 2005.

BIOLÃ. **Para que servem os painéis termoisolantes à base de lã de rocha?**

Disponível em: <<http://www.biola.com.br/para-que-servem-os-paineis-termoisolantes-base-de-la-de-rocha/>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

BLOGAEC. **Argila expandida: para que serve e como usar**. Disponível em: <<http://blogaecweb.com.br/?s=argila+expandida&x=0&y=0>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

DIVICENTER. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.divicentergo.com.br/isolantes.php>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

FREITAS, Vasco Peixoto de; PINTO, Manuel Antônio da Silva. Metodologia para a definição exigencial de isolantes térmicos. **NIT-001, IC, FEUP**, 1997.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GERKEN, André Luiz dos Reis. **Materiais de Proteção Térmica para Sistemas Construtivos de Baixo Custo Estruturados em Aço**. 2007. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-7SALAS>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas SA, 2008. 200 p. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/handle/123456789/707>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

GIL, Luís. Cortiça. In: CLARA, M. Clara, **Ciência e Engenharia de Materiais de Construção**. Lisboa, Portugal: IST Press, 2012, p. 663-715.

GONÇALVES, Helder; GRAÇA, João Mariz. **Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal**. DGGE/IP-3E, 2004. Disponível em: <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1323/1/Conceitos_20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2018.

HISS REET. Disponível em: <<https://www.hiss-reet-shop.de/>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

ISOLATIE. Disponível em: <<https://www.isolatatie.net/>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

SUSTENTARQUI. **Casas de palha: vantagens e desvantagens**. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/dicas/casas-de-palha/>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

KUAMOTO, Luciana Hikari. **Utilização da ágata do Rio Grande do Sul como matéria prima para luminária**. 2014. 91 p., Monografia (Trabalho de conclusão de

curso) – Curso de Design de Produto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116082/000955917.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 out. 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. São Paulo: PW Editores, 2014. 382 p.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2016. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2018.

MARCOS, Juliana Sofia Lopes. **Materiais naturais alternativos de isolamento térmico**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

MENDES, Pedro Filipe Sousa. **Isolamentos térmicos em edifícios e seu contributo para a eficiência energética**. 2012. 224 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2012. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/3333>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

MOURA, Luís Mauro. **Desenvolvimento de um protótipo de equipamento de placa quente protegida**. 1993. 177 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157806>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

PAZETO, Abiliane de Andrade. **Caracterização experimental de soluções de reforço para placas de rochas ornamentais**. 2017. 179 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08062017-161300/en.php>>. Acesso em: 05 out. 2018

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança, CRIVELARO, Marcos. **Conforto Ambiental - Iluminação, Cores, Ergonomia, Paisagismo e Critérios para Projetos**. São Paulo: Érica, 2014. 120 p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 f.

RUAS, A. César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999. 97 f.

RIO REVESTE. **Produtos**. Disponível em:
<<http://www.rioreveste.com.br/produto/chapa-st-125-x-0-60-x-2-00-knauf/>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

SANTOS, Claudio Gouvêa dos et al. Poliestireno expandido na construção civil. **Revista do Centro Universitário Newton Paiva**, v. 2, p. 114-118, 2013. Disponível em: <<http://blog.newtonpaiva.br/pos/wp-content/uploads/2013/11/E8-ENG18.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SILVA, Filipe Manuel Fernandes. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores**. 2013. 211 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68641/2/26108.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

SIMIONI, Wagner Isidoro. **Análise de erros na medição de condutividade térmica de materiais através do método fluximétrico**. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102491>>. Acesso em: 10 maio. 2018.

SPINELLI, Rodrigo; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, Faustino Patiño; AHLERT, Edson, SPINELLI, Fabiana Braun; QUADROS, Eric Augusto. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 153-171, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

SPINELLI, Rodrigo; CAMBEIRO, Faustino Patiño; KONRAD, Odorico. Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, 2018. Disponível em: <<http://www.sustenere.co/journals/index.php/rica/article/view/1878>>. Acesso em: 7 mai. 2018.

SPINELLI, R.; LERIN, D.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O. Desenvolvimento de placa de revestimento de fachada, com camada de vácuo para isolamento térmico. In: Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis, 3., 2018, Coimbra. **Resumos...** Coimbra: CLB-MCS, 2018.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Produtos**. Disponível em:
<<http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/quimico-petroleo-plastico/polibalbino/produtos/plastico/poliestireno-extrudido>>. Acesso em: 5 mai. 2018.